

전기철도용 축소형 부하불평형 보상설비 개발

Development of Small-Scaled Equipment for Improving Unbalanced Load in Railway

김주락* 강문호** 김정훈*** 박현준****
Kim, Joorak Kang, Moonho Kim, Kim, Jung-Hoon Park Hyun-June

ABSTRACT

This paper proposes the analysis on new equipment for power quality in electrified railway. The proposed equipment consists of series and parallel inverter. Each inverter is connected by capacitor as dc link. This structure can be compensated for active and reactive power in catenary through transformer.

1. 서론

국가 교통 물류의 혁신적인 변화를 가져온 경부고속철도를 위시하여, 여러 간선철도의 전철화 사업으로 인하여 국내의 전철노선의 연장을 확장 일로에 있다. 이 같은 국내 전기철도의 확충은 한국전력의 일반전력계통과 전기철도 시스템과의 잦은 연계를 의미하기도 한다. 이에 따라 일반전력계통에서는 단상시스템이며, 이동하는 집중부하 특성을 갖는 전기철도 급전시스템으로 인한 전력품질 저하에 관심을 갖기 시작하였고, 전기철도 입장에서는 전력품질 문제에 대하여 수용가로서 규제사항의 충실한 의무수행이 필요하다.

현재 한국전력에서는 전력품질 문제중 불평형과 고조파 전압왜형을 전기철도와 한국전력시스템이 접속되는 PCC에서 일정 제한치로서 규제하고 있다[1]. 이에 따라 현재 경부선에는 고속신선의 경우 능동필터가 대구 이남의 기존선 구간에서는 수동필터가 설치되어 고속철도 개통과 함께 운영되고 있다 [1,2]. 그러나 이는 선로의 고조파 전류를 저감시킬 목적으로 설치되었으며, 국내 기술이 아닌 외국기술에 의존하여 설치되었다. 그러나 전기철도에서는 고조파 문제뿐 아니라 3상전력의 2개 단상 변환과 M상과 T상의 부하의 불균형으로 인하여 전압불평형도 종종 문제시 되고 있는 현실이다.

본 논문에서는 직렬 및 병렬 인버터로 부하불평형 및 전압강하 보상 문제도 해결할 수 있는 새로운 설비를 제안하고자 한다. 기 완료된 알고리즘을 바탕으로 축소형 모델을 설계 및 제작 하였으며, 구축된 설비를 통하여 여러 시험을 수행하였다.

* 김주락, 정회원, 한국철도기술연구원, 전기신호연구본부
E-mail : jrkim@krri.re.kr
TEL : (031)460-5411 FAX : (031)460-5459

** 선문대학교

*** 홍익대학교

**** 한국철도기술연구원

2. 부하 불평형

개발한 보상설비는 앞서 서론에서도 기술하였듯이 단상 건인에너지의 상간 불평형을 해소하고자 제안한 것이다. 부하불평형은 국내 철도와 같이 3상전력을 2개의 단상전력으로 변환하여 열차에 공급하는 한 발생할 수 밖에 없는 것이 현실이다. 비록, 국내 교류전기철도에서 사용되고 있는 스코트 변압기가 3상측(1차측)의 평형을 가장 잘 구현하지만 단상측(2차측)이 부하평형을 이루어야만 1차측이 평형이 되기 때문에 상업운전시 부하평형을 이루기는 매우 힘들다.

다음 그림 1은 신청주변전소에서 측정된 M상과 T상의 소비전력(유효전력)을 나타낸 것이다.

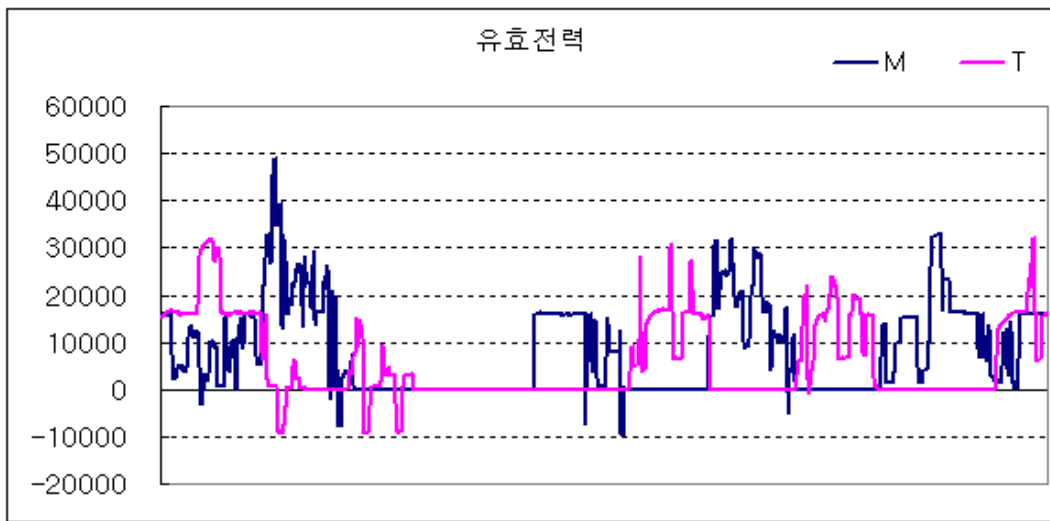


그림 1. 변전소 55kV측 부하

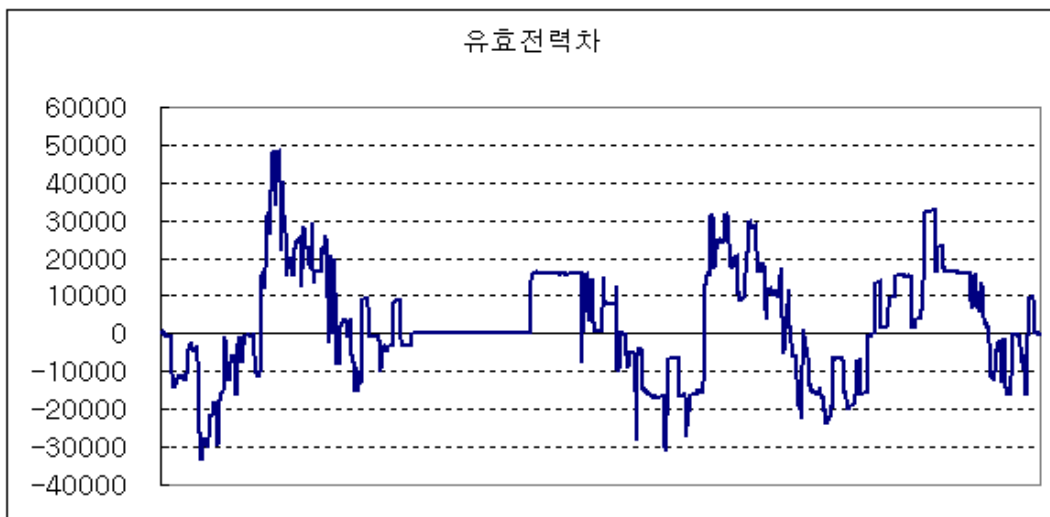


그림 2. 변전소 M상과 T상의 부하차이

그림에서와 같이 KTX의 상업운행시 발생하는 부하 불평형이 상당한 수준이며, 이는 열차가 이동하며 집중된 부하이기 때문에 부득이한 상황이다. 그러나 문제는 위와 같은 불평형이 순시적으로 계속 발생한다는 것이다. 위의 그림이 1시간 측정결과인데 두 상간 평형을 이루는 상태는 매우 짧은 순간임을 알 수 있다. 더구나 평형인 순간은 두 상 모두에 열차가 급전구간으로 진입하지 않은 상태였다. 이러한 부

하 불평형은 3상측의 전압불평형으로 이어져 역상전압으로 인한 회전기기들의 손상과 과열을 일으키며, 양쪽 단상의 부하의 최대값을 고려하여 주변압기의 용량을 산정하므로, 실제 사용 용량에 비해 주변압기의 용량이 커질 수 있다.

이러한 문제점을 해소하고자 제안한 설비의 개념과 그 축소형 시험설비에 대하여 다음 장에서 논하고자 한다.

3. 보상설비 구조

본 논문에서는 앞서 서술하였듯이 부하불평형 해소를 위한 보상설비를 제안하고 제안한 설비의 H/W 시험을 위한 축소형 모형을 개발하였다.

3.1 제안하는 보상설비

본 연구에서 제안한 전력품질 보상장치는 직렬보상장치와 병렬보상장치가 혼합된 형태를 가지고 있으며, 그 개략적인 구조는 그림 3과 같다[5]. 제안한 시스템은 스코트 변압기 2차측에 M상과 T상에 각각 설치된다.

그림 3의 점선부분 안에 있는 것이 제안하는 보상설비를 보여준다. 그림에서 보듯이 전차선로에 직렬로 변압기를 통하여 연결된 인버터와 병렬로 연결된 인버터가 한쪽 상에 하나씩 연결된 것을 볼 수 있다. 또한 직렬 및 병렬 인버터는 캐패시터를 통하여 DC-Link를 공유하며 연결되어 있어, 캐패시터에 저장된 전력의 사용으로 각종 전력품질 문제를 해소하는데 이용된다.

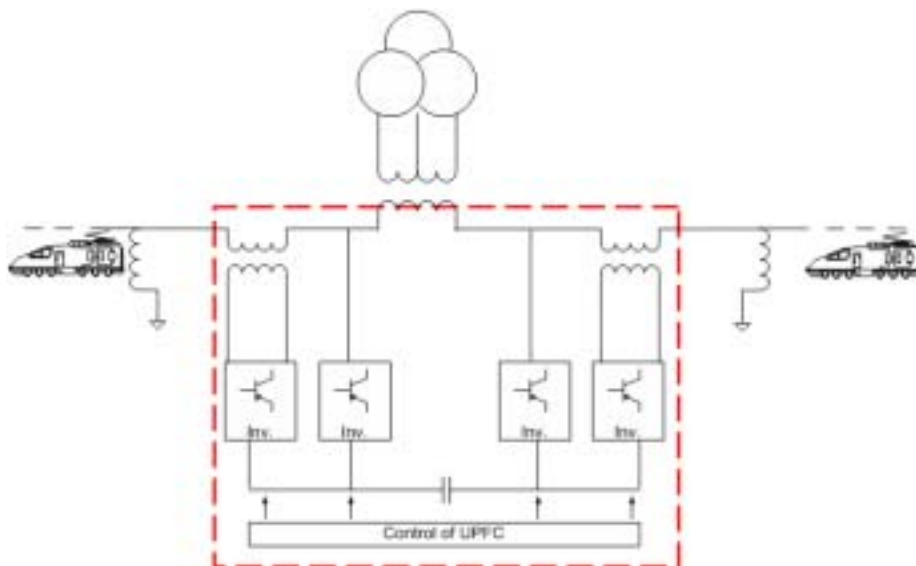


그림 3. 보상설비 개념도

3.2 축소형 시험설비

그림 4는 본 연구에서 제안한 전력품질 보상설비의 축소형 모델의 개념도이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 교류 철도 급전시스템의 개략 모델과 보상설비의 용량 축소형 모델로 구분할 수 있다. 급전

시스템의 개략모델은 구축한 축소형 보상설비의 성능시험을 위하여 제작하는 것으로 급전시스템과 동일한 구조를 가지지는 않지만 그 특징은 모두 나타낼 수 있도록 설계하였다. 즉, 국내 교류 급전시스템의 가장 큰 특징인 3상 전력의 2개 단상 변환은 실제 급전시스템의 스코트 변압기를 용량을 축소하여 설계하였다. 따라서 T상과 M상의 부하불평형 모의가 가능하다. 또한 부하단의 소용량의 인버터와 전동기를 이용하여 다양한 상황의 철도부하를 모의할 수 있도록 설계하였다.

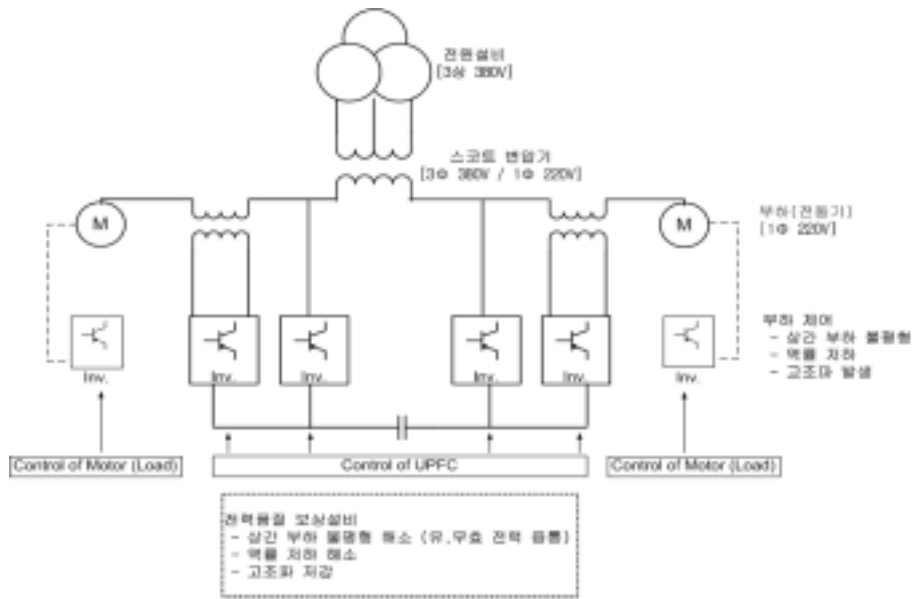


그림 4. 개발한 축소형 보상설비의 개념도



그림 5. 개발한 축소형 보상설비



그림 6. 제어 구조

그림 5는 그림 4에서 보여준 제안 설비를 개발한 것이다. 그림에서 배전반 형태의 좌측이 각종 제어 장치와 인버터가 내장된 것이다. 우측이 부하로 사용되는 전동기 모습이다. 이렇게 구성된 H/W설비는 그림 6과 같은 제어 구조에 의해 각 상의 부하 및 보상부의 인버터를 제어함으로써 의도한 기능이 발휘 될 수 있다. 그림 6은 DSP 보드 단위로 구성된 각 제어 로직들의 관계를 보여주고 있다.

이상의 그림과 같이 구축된 설비를 바탕으로 다양한 상정시험을 하고 이 결과를 활용하여 실제통 적용을 앞당길 수 있을 것이다.

4. 보상설비 시험

2장에서도 설명하였듯이 부하불평형은 교류 급전시스템에 빈번하게 발생하며, 이를 해소하기 위해 제안한 설비를 3장에서 설명하였다. 본 장에서는 구축된 설비를 이용하여 수행한 시험결과들에 대해 논한다.

4.1 부하불평형 시험

구축한 축소형 피시험체는 2개의 단상(M상 및 T상)간에 발생한 부하 불평형을 보상하는 성능을 시험하고자 개발하였다. 보상 성능을 시험하기 위해서는 먼저 상간 부하불평형을 상정하여야만 한다. 본 설비에서는 상간 부하 불평형을 상정하기 위해 각 상에 2개의 전동기를 설치하였다. 전동기중 하나는 전기차를 모의한 것이고 나머지 하나는 주 전동기의 전류 제어를 위한 서보모터이다. 시험은 주전동기의 속도는 동일하게 유지하고 서보모터의 전류제어를 통하여 양상의 부하차이를 발생시키는 방법을 사용하였다. 수행한 시험은 다음과 같다.

- 1) M상과 T상의 부하출력을 동일하게 유지하며, 단계적으로 부하 상승
- 2) M상의 출력을 고정시키고 T상의 출력만 단계적 상승

1)의 시험은 서로 동일하게 부하를 유지시키며, 출력조정을 하는 시험이다. 이 결과는 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보듯이 출력의 조정에 따라 M상과 T상의 출력이 동일하게 변화하는 것을 볼 수 있다. 따라서 전동기의 제어로 각상의 출력이 가변 가능함을 알 수 있다.

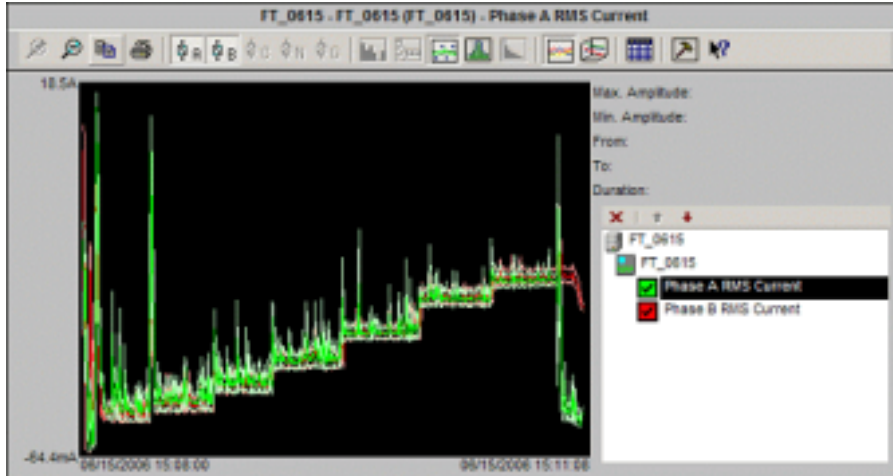


그림 7. 두상의 동일한 부하조정 출력

2)의 시험은 한쪽 상은 출력을 고정시키고 나머지 상의 출력만을 증가시켜 모든 출력상태에서 부하 불평형을 상정가능한지를 시험하는 것이다. 그림 8은 이 시험의 결과 파형이다. 그림에서 보듯이 측정기 상의 B상(T상)은 최대출력으로 고정시키고 A상(M상)은 최저출력에서부터 최대출력까지 증가시킨 것을 볼 수 있다. 다만, 최대 출력전에 B상의 출력을 최저로 맞추어 A상과 동일 출력을 갖는 것을 방지 하였다. 본 논문에서 의도한 시험 목적이 충실히 유지 되는 것을 결과를 통해 알 수 있다. 향후에는 그림과 같은 상황에서 각 상간 부하를 보상하는 시험이 가능할 것이다.

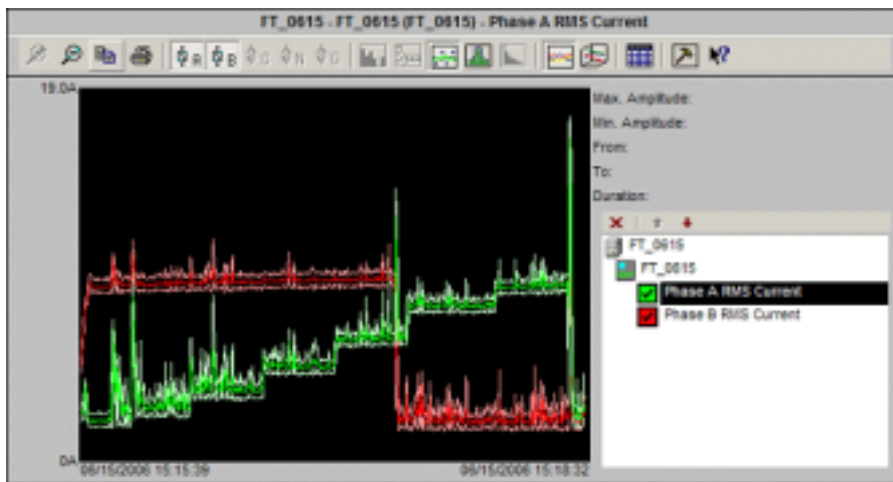


그림 8. 상간 부하 불평형 시험 결과

4.2 PLL(Phase Lock Loop) 시험

그림 6에서 설명하였듯이 구현된 설비를 시험하기 위해서는 전원부와 부하측간의 각종 전압, 전류값을 읽어 제어 기준치를 설정하고 읽은 값들과의 차를 보상하는 제어를 통해서만 목표로 한 기능을 구현할 수 있다. 즉, PLL은 실제 발생한 전압의 위상을 검출하는 과정을 일컫는다. 다음 그림 9는 구현한 PLL알고리즘을 통하여 얻은 전압파형과 실제 측정된 파형을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 실제 파형과 PLL을 통하여 얻은 파형의 위상이 정확히 일치하고 있다.

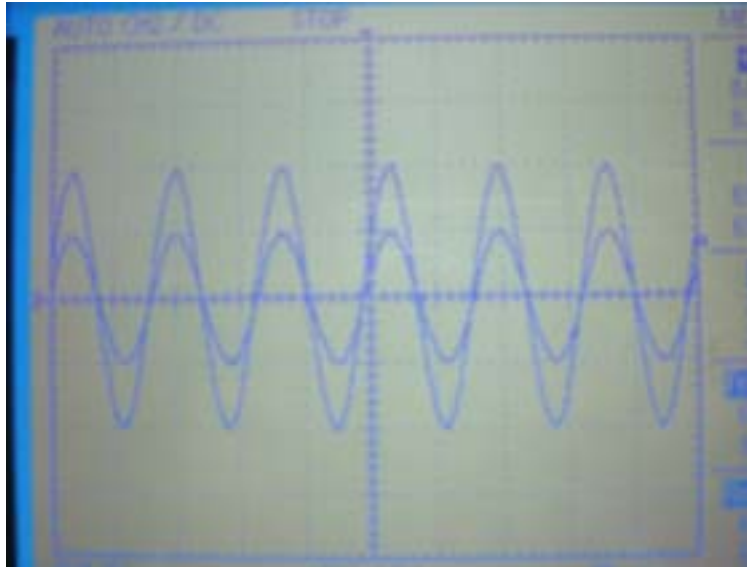


그림 9. PLL 구현 파형 검토

5. 결론

본 연구에서는 제안한 교류 전기철도용 부하불평형 보상설비의 축소형 모델의 개발과 간단한 시험과정을 통한 설비의 성능을 하였다. 제안한 설비는 기존의 병렬형 보상설비와는 달리 DC-Link를 통한 직렬 및 병렬형의 조합으로 선로에 무효전력의 보상뿐만 아니라 유효전력의 보상도 할 수 있다.

현재 본 축소형 설비의 경우 구축단계에 있지만, H/W 제작의 완성과 더불어 개발한 제어 알고리즘의 구축으로 보상부의 시험까지로 확대할 예정이다. 모든 H/W와 S/W의 완성 후에는 M상과 T상의 전력용 통으로 인한 상간 부하 불평형을 해소시키고 부가적으로 가능한 전압보상 효과도 검증할 예정이다. 이러한 시험으로 설비의 주요소들의 정격 혹은 동작특성을 파악할 수 있으며, 나아가 실계통에 적용할 수 있는 설비의 제작 노하우도 축적할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 이장무외 (2003), “경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화대책연구 보고서”, 한국철도기술연구원
2. 이장무외 (2003), “고속철도 기존선 전철화 구간의 고조파 저감대책 용역 보고서”, 한국철도기술연구원
3. 김주락외 (2003), “차세대 철도원천 기술개발(Smart-Rail 기술개발 연구보고서)” 한국철도기술연구원
4. R. E. Morrison (2000), "Power quality issues on AC traction systems," Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, pp. 709-714.
5. 김주락외 (2004), “전기철도 급전시스템 전력품질 향상을 위한 새로운 보상장치 검토”, 한국철도학회 2004년 추계학술대회.
6. 김주락외 (2005), “부하불평형 해소를 위한 축소형 보상설비 개발”, 한국철도학회2005년 추계학술대회.