

# 손실 저감을 위한 경전철 무선급전 제어 알고리즘

김찬인, 이찬교, 최정현, 김민호, 김태겸, 유효열, 조정구  
(주)그린파워

## Control Algorithm for Wireless Powered Light Rail Transit with Low Power Loss

Chan-In Kim, Chan-kyo Lee, Jung-Hyun Choi, Min-Ho Kim, Tae-Kyeom Kim Hyoyol Yoo, Jung-Goo Cho  
Green Power Co.,Ltd

### ABSTRACT

무선 급전 경전철 차량은 차량이 역에 도착하였을 때 단시간에 배터리에 에너지 충전을 요구함에 따라 1MW이상의 순간 전력을 공급하는 시스템을 요구하게 된다. 때문에 대용량 파워에 따라 손실의 따른 발열량이 커지게 된다. 때문에 높은 효율을 갖는 제어 방식을 선택하는 것이 불가피하게 된다. 이러한 이유로 본 논문에서는 집전 정류기를 PLL을 통하여 스위칭 지점을 ZVS가 가능하도록 제어하고 또한 스위칭 OFF 손실을 줄이기 위하여 주파수를 4분주로 스위칭 하는 방식을 제안하고 이를 실제 하드웨어를 통하여 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

철도 차량의 경우 화물 및 여객의 대량 수송이 가능하여 다른 여러 운송 수단에 비해 친환경적이고 에너지 효율이 높아 미래의 교통 수단으로 관심을 받고 있다. 그러나 현재 설치된 철도 시스템의 경우 가선이 노출되어 있어 발생하는 안전 문제 및 넓은 추가 공간 확보가 필요하다. 그리하여 현재 철도 차량이 갖는 장점인 정시성과 안정성을 유지하면서 가선의 노출이 없어 안전성은 물론 유지보수에도 유리한 새로운 급전 시스템이 필요한 상황이다. 이러한 기존의 시스템에 대한 대안으로 무선 급전 시스템이 주목 받고 있다. 무선 급전 시스템의 경우 지면에 급전 코일을 매설하여 자기장을 발생시켜 집전 장치의 코일은 통하여 전자기 유도 현상을 통하여 전력을 발생시킨다. 이러한 무선 급전 시스템에 관한 연구는 오래 전부터 진행되어 오고 있다. 무선 급전 인버터의 경우 크게 2가지 파트로 나뉜다. 먼저 인버터 파트와 공진 네트워크로 나뉜다. 이중 공진 네트워크는 또 2가지 방법으로 크게 나뉜다. 먼저 직렬 공진의 경우 급전 트랙에 공진 커패시터를 연결한 방식으로 커패시턴스의 변경을 통하여 공진을 조절할 수 있다. 그러나 급전 트랙에 흐르는 전류가 인버터에 흐르는 전류와 같기 때문에 차량을 충전하지 않는 무부하 상태에서 전격전류가 흐르기 때문에 무부하 손실이 크다. 때문에 대용량 인버터에 적합하지 않다. 다른 방식으로는 병렬 공진 방식이 있다. 병렬공진의 경우 급전 코일에 병렬로 커패시터를 연결하고 인버터와 공진 인덕터 그리고 커패시터를 직렬로 연결한 방식이다. 이 경우 공진 소자가 늘어남에 따라 공진을 조정하는데 어려움이 있지만 무 부하시 인버터에 손실에 해당하는 전류만 흐르기 때문에 대용량 인버터에 적합한 방식이라고 할 수 있다.

### 2. 무선 급전 시스템

#### 2.1 무선 급전 시스템 구조

무선 급전 시스템의 구조는 그림 1과 같이 구성이 된다. 무선 급전 인버터의 경우 급전 코일에 흐르는 전류를 제어하여 정전류로 제어하게 된다. 무선 급전 코일에 흐르는 전류는 전자기 유도를 통하여 집전 코일에 유기되게 되고 그림 1과 같은 등가회로로 표현할 수 있다.

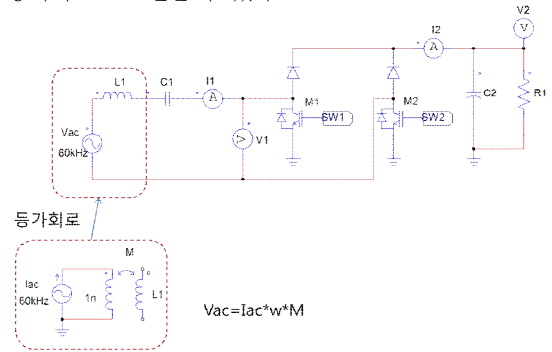


그림 1 무선 급전 시스템 구조

#### 2.2 제안된 집전 컨버터 PLL 제어 알고리즘

제안된 제어 알고리즘은 크게 두 가지로 구성이 되어 있다. 그림 2에 있는 PLL과 그림 3에 전류 제어기로 구성이 되어있다. 먼저 PLL은 집전장치에 흐르는 전류의 위상을 찾아 전류 제어기의 스위칭을 위한 클럭을 만든다.

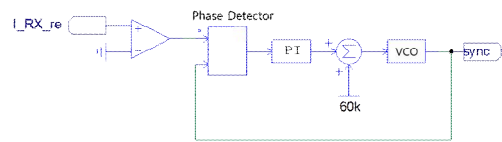


그림 2 PLL 구조

만들어진 클럭은 집전장치의 스위칭 시점을 결정하게 된다. 이 시점의 경우 집전장치의 스위치가 ZVS를 하는 시점으로 스위칭을 하게되고 이를 통하여 스위칭 ON 손실이 없이 스위칭을 할 수 있게 된다. 그림 3을 보면 집전장치 스위칭은 두 개로 나뉘 스위칭하게 된다. 그림 1에서 보면 sw1, sw2가 있는데 두 개의 스위칭은 다른 시점에서 스위칭하게 된다. Sw1의 경우 집전 공진 네트워크에 흐르는 전류가 음의 방향에 있을 때 스위칭 하게 되고 Sw2의 경우 전류가 양의 방향일 때

스위칭을 하게 된다. 이를 통하여 sw1, sw2 모두 ZVS를 하게 된다.

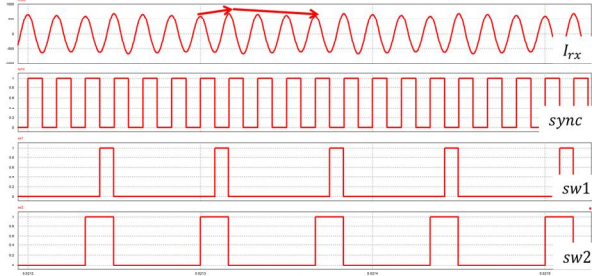


그림 3 스위칭 파형

### 2.3 제안된 집전 컨버터 전류 제어 알고리즘

집전장치 스위칭의 경우 리플과 손실을 저감하기 위하여 주파수를 분주하여 스위칭 하게 된다. 예를 들어 집전장치를 4개 이용하는 경우 그림 4를 보면 스위칭을 각 스택별로 인터리브 방식으로 동작 시키므로 리플을 저감하고 또한 스위칭 주파수를 감소시켜 스위칭 OFF시 발생하는 손실을 감소시킬 수 있다. 또한 매 주기마다 스위칭을 하게 되면 공진 이동이 발생함에 따라 공진에 영향을 줄일 수 있다.

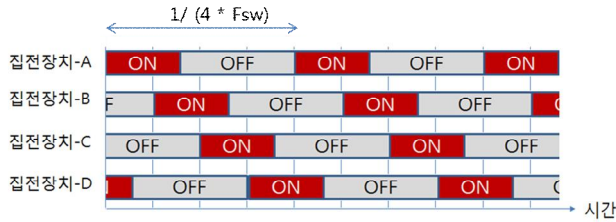


그림 4 4분주 스위칭 예시

## 3. 실험

### 3.1 실험 구성

그림 5와 같이 실험 테스트 베드를 구성하였다. IVR과 정류기를 통하여 DC 입력 전압을 공급받고 이를 급전 인버터를 통하여 급전 스택에 전달된다. 이를 전자기 유도 현상을 통하여 집전 코일로 전달하고 집전코일을 사용자가 원하는 전류를 출력한다. 인버터의 경우 대용량에 유리한 병렬 공진 방식으로 급전 코일에 흐르는 전류를 정전류로 제어하고 집전은 4대를 병렬로 이용할 경우로 가정하여 집전장치 1대를 모의 시험하였다.

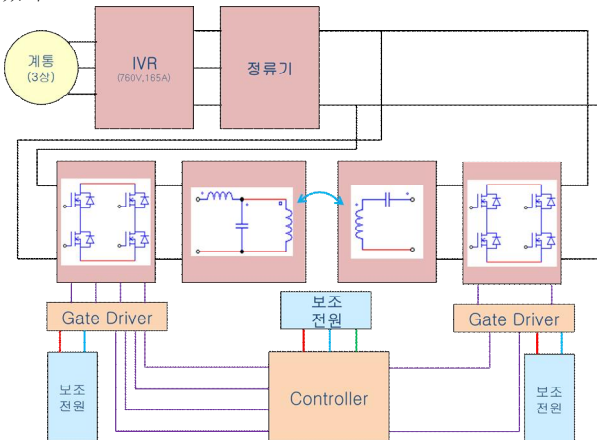


그림 5 실험 구성도

## 3.2 실험 결과

그림 6는 인버터의 전압, 전류, 급전 코일의 전류를 나타내고 있다. 또한 집전 컨버터 입력 전류와 전압을 다음 그림에 나타내고 있다. 집전컨버터 입력 전류의 경우 스위치 On할 때 집전 코일의 인덕턴스의 전류가 증가하게 되고 스위치 Off를 하게 되면 전류가 출력으로 흐르게 된다.

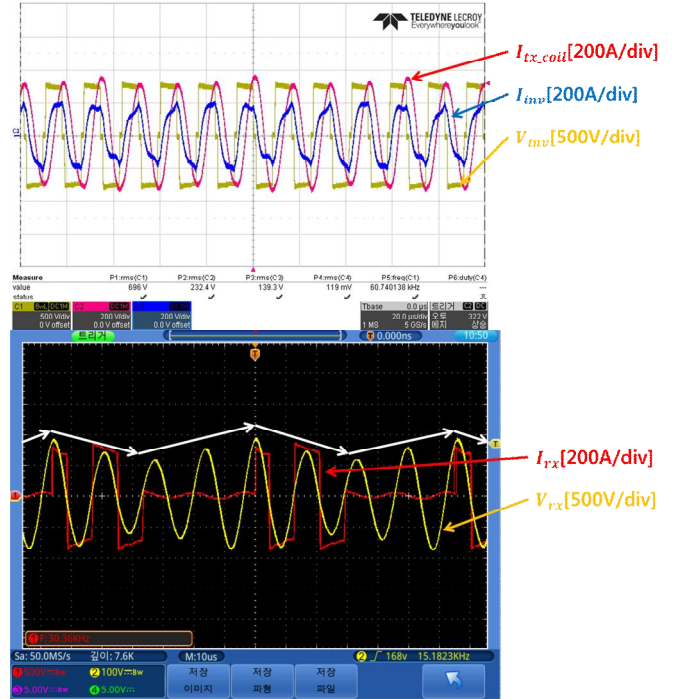


그림 6 실험 파형

## 4. 결론

본 논문에서는 무선 급전용 집전장치의 리플 저감 및 공진에 영향과 손실을 감소시키기 위한 방법을 제안한 논문으로 75kW 모의 테스트를 통하여 제안된 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 추후 인버터와 집전 컨버터의 효율 문제를 해결하기 위해 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원 (16RTRP-B097048-02)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] 조정구, "Wireless EV Charger", 전력전자학회 2011년도 추계학술대회 논문집, 2011. 11, 124-136(13 pages)
- [2] 이수길, 이준호, 정구호, "무선 급전 철도시스템 개발 현황", 월간 교통 2013-09, 2013.9, 18-23
- [3] 이준호, "대용량 무선급전 시스템의 구성에 관한 연구", 2014 대한전기학회 제45회 하계학술대회, 2014. 7, 1653-1654 ( 2 pages)