

# 무선전력전송시스템을 적용한 경량전철의 부하균등제어방법 실증 시험

김찬인, 이찬교, 오영석, 유효열  
(주) 그린파워

## A Load Balancing Control Method Verification Test For Light weigh electric railway Using Wireless Power Transfer System

Chan-in Kim, Hyo-Yol Yoo, Jung-Goo Cho  
Green Power Co.Ltd

### ABSTRACT

경량전철과 같은 대용량 전력 시스템에 무선전력전송 기술을 적용할 때 전력변환장치의 병렬 운전은 필수적이다. 병렬 연결된 전력변환장치의 경우 출력이 공통으로 연결되어 전력을 공급하게 되는데, 이 때 집전 컨버터의 부하균등제어는 각각의 집전 컨버터의 부하 불균형을 막아줌으로써 집전 컨버터의 수명과 효율이 감소하는 것을 막아준다. 본 논문에서는 부하균등제어방법을 적용한 무선 경량전철 시스템을 통해 기존에 제안된 제어기법을 적용하여 검증하였다. 실증시험의 경우 경산에 위치한 한국철도기술연구원 경량전철시험선의 시험용 경량전철을 두 개의 역사를 반복하여 서틀 운행하여 최대 400kW의 전력을 두 개의 집전 장치가 전력을 균등하게 공급하는 것을 확인 및 분석하여 논문의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서 론

무선 전력전송 시스템을 적용한 경량전철의 경우 가선의 노출이 없어 높은 안정성을 가지며 유지보수에도 유리해 기존의 시스템의 대안으로 주목받고 있다. 무선급전 경량전철의 경우 각 차량에 1대 이상의 집전장치가 부착되는데 이 때 각각의 집전장치에 연결된 집전 정류기의 부하를 균등하게 제어하지 않으면 부하가 균등하게 분배되지 않고 특정 집전장치와 정류기에 의존하기 때문에 설계된 전체 부하를 출력하기 어렵고 또한 전체 시스템의 효율과 수명을 단축시키게 된다. 따라서 부하균등제어가 필요하게 되는데 각 차량의 집전장치는 독립적으로 부착되어 있기 때문에 상위 제어기를 이용한 부하 균등제어가 아닌 추가적인 제어 방법의 적용이 필요하다. 위와 같은 이유 때문에 본 논문은 기존에 제안된 병렬 연결형 전력 컨버터의 부하 균등제어 방법을 적용하였다. 해당 제어 기법의 경우 두 개의 독립적인 장치가 각자의 MCU를 이용하여 별도의 연결이 없이 각 집전장치의 부하와 전압으로 부하를 균등하게 제어할 수 있어 무선급전 경량전철에 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 논문은 경산 경량전철시험선의 시험용 경량전철을 무선급전 경량전철로 개조하여 두 개의 역을 서틀 운행 시 부하균등시험을 진행하고 시험결과 분석을 통해 본 시스템의 타당성을 검증하였다.

### 2. 무선충전 경량전철 부하균등방법 실증시험

#### 2.1 무선충전 경량전철 시스템

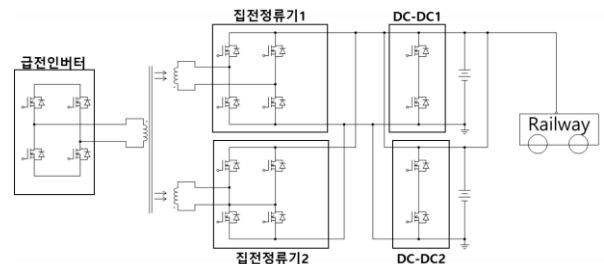


그림 1 무선급전 시스템을 적용한 경량전철

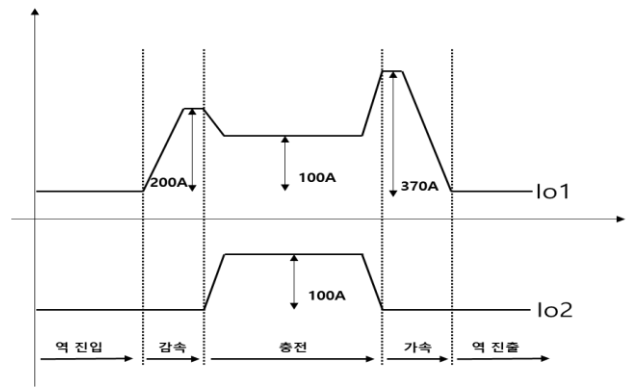


그림 2 집전장치 충전 프로파일

그림 1은 무선충전 시스템을 적용한 경량전철을 나타낸다. 인버터, 급전선로, 집전장치, DC-DC컨버터, 배터리로 구성된다. 그림 2는 경량전철이 역을 진입에서 진출할 때까지 나타나는 충전 프로파일이다. 역을 진입할 때 먼저 역에 가까운 집전장치가 충전을 시작하게 되고 열차는 감속을 하여 역에 정차하게 된다. 그리고 일정시간 동안 정차하여 충전을 하게 되고 출력전압의 경우 충전 시에는 집전장치가 제어하게 되고 다시 진출할 경우 역에서 먼 정류기가 진출하여 충전을 중단하고 역과 가까운 정류기가 가속과 동시에 충전을 하게 된다. DC-link 전압의 경우 방전 시에는 DC-DC 컨버터에 의하여 제어한다. 충전 시 두 개의 집전장치는 출력이 병렬로 연결되어 전압을 제어하고 이때 부하 불균형을 막기 위하여 부하균등제어방법을 이용하였다<sup>[1]</sup>.

표 1 집전 정류기 제원

항 목	내 용
출력 전압	770V
출력 전류	377A
전력 용량	250kW
집전장치 최대 전류	500A
냉각 방식	수냉
사용 소자	CAS300M12BM2

표 1은 본 논문의 실증시험에 사용된 집전정류기의 제원이다. 집전정류기는 1량에 1대씩 두 개의 정류기가 병렬 운전한다. 집전정류기의 최대 전류는 377A이고 집전 정류기는 전압제어(CV : Constant Voltage)로 동작하다가 최대 전류에 도달하면 CC(Constant Current)로 동작하게 된다.

### 2.2 실증시험 테스트 베드 구성

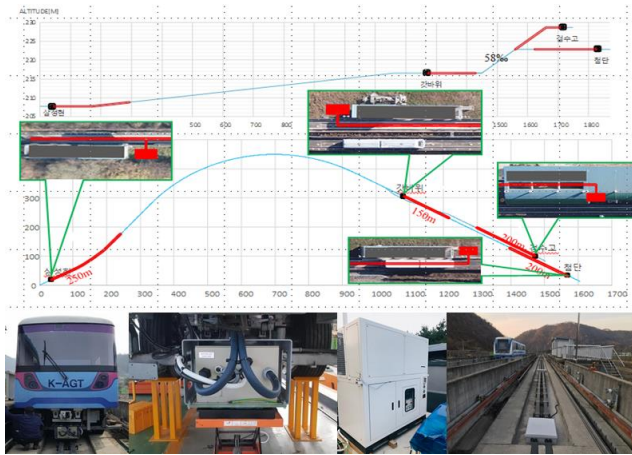


그림 3 테스트 베드 구성

실증시험 테스트 베드의 구성은 그림 3과 같다. 4개의 역사에 각각의 인버터와 급전 선로가 설치되어있다. 삼성현역과 각바위역 사이의 시험선이 경우 1.1km로 구성되어있고 본 실증시험의 경우 50km/h로 두 개의 역을 자동으로 셔틀 운전하여 시험하였다. 전동차의 경우 2량 1편성으로 되어 1량에 1대의 집전장치와 집전정류기가 부착되어 병렬로 운전하여 운행한다.

### 2.3 실증시험 결과

그림 4는 테스트 베드에서 전동차가 역사를 진출입할 때를 나타내는 파형이다. 50km/h로 주행하던 전동차는 감속을 하며 역사로 진입하게 된다. 충전 시퀀스는 먼저 전동차의 진입 전에 급전 인버터를 가동( $t_0$ )하고 전동차가 급전 선로 위에 올라오면서 충전( $t_1$ )하는 것을 확인할 수 있다. 또한 두 개의 집전장치가 모두 급전 선로 위에 올라왔을 때 약 100A로 균등하게 충전되는 것을 확인할 수 있다. 정차시간이 완료되면 전동차는 역사를 출발( $t_2$ )하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 마지막으로 인버터의 무선 급전을 중단( $t_3$ )하게 된다.

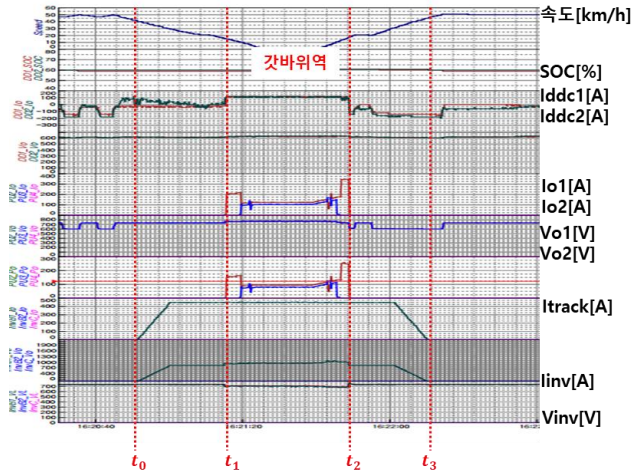


그림 4 부하균등제어를 적용한 무선급전 경전철 실증시험 결과

## 3. 결론

본 논문은 병렬 연결형 전력 컨버터의 부하 균등제어 알고리즘을 무선급전 경량전철의 집전 정류기에 적용하여 알고리즘을 검증하고 또한 이를 적용한 전동차의 실증시험을 진행하였다. 무선급전 경량전철의 경우 전력 용량이 크고 또한 각 집전장치가 독립적으로 운전하기 때문에 독립적인 상태에서 부하를 균등하게 제어하는 방법은 필수적이다. 본 논문은 경량전철에 적용된 제어 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 대용량 무선급전의 부하 균등제어 알고리즘 및 제어 기법에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업의 연구비지원 (19RTRP-B097048-05)에 의해 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] 김찬인, "병렬 연결형 전력 컨버터의 부하 균등제어 방법", 전력전자학회 2018년도 추계학술대회 논문집, 2018. 11, 219-220(2 pages)
- [2] 이수길, "철도차량 무선급전 실용화를 위한 전원안정화장치 기술연구" 대한전기학회 2018년도 대한전기학회 학술대회 논문집, 2018.11, 70-75(6pages)
- [3] 이재홍 "무선전력전송을 이용한 Dual-Active-bridge Converter" 전력전자학회 2019년도 전력전자학술대회 2019.07, 6-7(2pages)