

# 유도 급전을 이용한 경전철 시스템의 효율 개선에 대한 연구

최승철\*, 이병송\*\*, 목형수\*  
 건국대학교\*, 한국철도기술연구원\*\*

## A study on the improvement of efficiency in the light railway vehicle system using IPT

Seung-Cheol Choi\*, Byung-Song Lee\*\*, Hyung\_Soo Mok\*  
 Konkuk Univ\*, Korea Railroad Research Institute\*\*

### ABSTRACT

This paper presents a potential for application of Inductive Power Transfer(IPT) to the light railway vehicle system. IPT system allows for a vehicle fitted with existing or new generation batteries to park over a small charging unit and commence charging immediately. Regular charging will allow for smaller batteries to be used in vehicles. In this paper, IPT system uses a full-bridge LLC resonant converter and is possible for the regenerative braking which is an energy recovery mechanism.

### 1. 서론

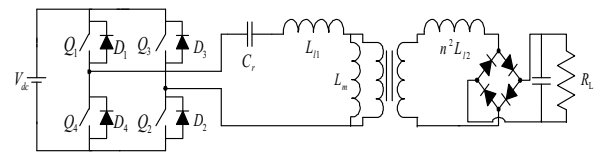
자기 유도 현상을 이용한 전력 전송 방식은 이미 1800년대에 전기 모터나 변압기에 사용되기 시작했으며, 현재 우리가 사용하는 전동 칫솔이나 일부 무선 면도기의 충전 원리로 사용된다. 철도에서 사용하는 방식은 변압기의 1차 권선과 2차 권선 사이를 기계적으로 분리하여 급전체와 집전체로 나누어 각각 궤도와 차량에 설치하는 방식으로 무선 전력전송 방법 중에서는 비교적 대용량으로 제작할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라 현재 철도에서 사용 가능한 무선 전력전송 방법들 중 용량을 고려할 때, 위와 같은 전자기 유도를 이용한 유도급전 방식이 유일한 대안으로 받아들여지고 있으며, 세계 교통선진국에서 유도 급전을 이용한 경전철 시스템 운영에 많은 연구가 행해지고 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 유도 급전을 이용한 축소형 경전철 시스템을 제작하였다. 급전시스템은 LLC 공진형 인버터를 사용하였고, 주행 중 제동시 회생제동을 구현하여, 유도급전 시스템의 효율 개선과 전기 철도 분야에 유도급전 시스템의 활용 가능성을 확인하였다. 제안한 방법은 실험 결과를 통하여 검증하였다.

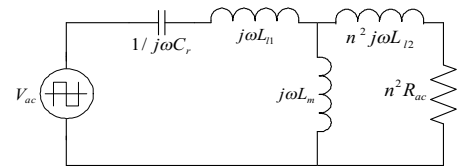
### 2. 유도 전력 전송 시스템

#### 2.1. LLC 직렬 공진 컨버터

공진형 인버터는 원리적으로 스위칭 손실이 없기 때문에 높은 효율, 높은 주파수를 갖는 컨버터 설계가 가능하며, 공진탱크가 직렬 공진 회로를 구성하고 있는 것을 직렬 공진 컨버터라 부른다.



(a) 블록선도



(b) 등가회로

그림 1 LLC 직렬 공진컨버터의 블록선도와 등가회로  
 Fig. 1 Block diagram and equivalent circuit of LLC series resonant converter

그림 1은 LLC 직렬 공진컨버터의 블록선도와 등가회로를 나타낸다. 본 논문에 사용한 컨버터는 그림 2와 같이 공진주파수에서 모든 부하에 대해 일정한 전압 이득을 얻을 수 있으며, ZVS(Zero Voltage Switching)를 사용하여 소프트 스위칭을 구현하였다.<sup>[2]</sup>

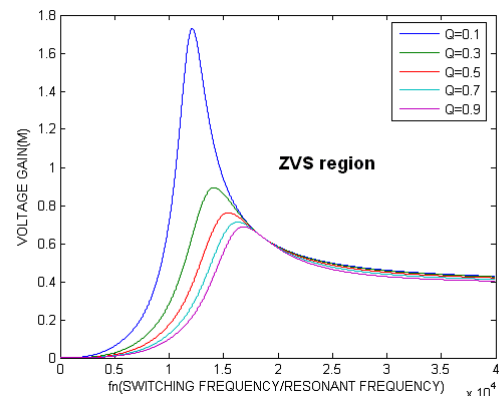


그림 2 LLC 직렬 공진컨버터의 전압이득  
 Fig. 2 Voltage gain of LLC series resonant converter

## 2.2. 슈퍼캐패시터를 사용한 회생제동 시스템

에너지 저장장치에 슈퍼캐패시터를 사용함으로써 일반 배터리 사용시 보다 빠른 충,방전이 가능하여 가,감속시 성능을 향상시켰다. 슈퍼 캐패시터의 충,방전은 양방향 DC/DC 컨버터를 사용하여 전류제어를 통해 구현하였다.<sup>[3]</sup> 양방향 DC/DC 컨버터는 스위칭 수가 적고, 효율이 높은 buck-boost 컨버터를 사용하였다.

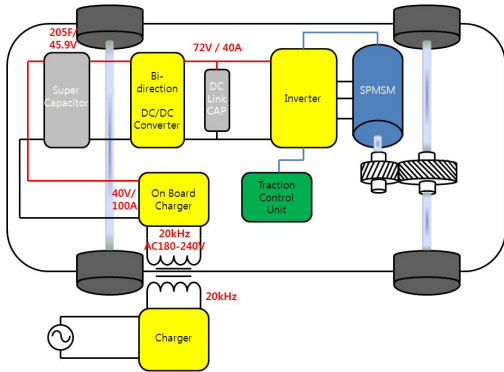


그림 4 전체 시스템 블록선도  
Fig. 4 System block diagram

## 3. 실험 및 결과



그림 5 유도급전 실험 장비  
Fig. 5 Experimental equipments of IPT

제안된 연구의 타당성을 검증하기 위해 LLC 직렬 공진컨버터와 축소형 차량 시스템을 제작하여 실험을 하였다. 컨버터의 주요사양은 다음과 같다.

표 1 LLC 직렬 공진컨버터 주요사양  
Table 1 Specifications of LLC series resonant converter

입력 전압	220V 3Ø
출력 용량	3kW
스위칭 주파수	12 - 27kHz
공진 주파수	18.5kHz
직렬 공진 캐패시터	3uF

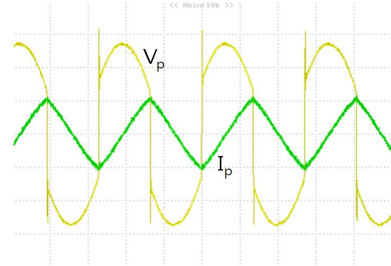


그림 6 LLC 직렬 공진컨버터 1차측 전압( $V_p$ )과 전류( $I_p$ ) 실험 파형  
Fig. 6 Experimental waveforms of voltage( $V_p$ ) and current( $I_p$ ) in primary of LLC series resonant converter (200V/div., 20A/div., 20us/div.)

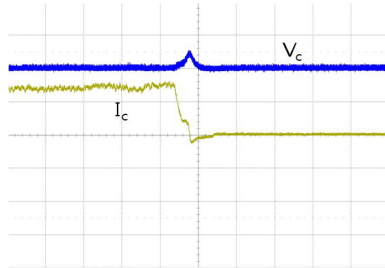


그림 7 회생 제동시 슈퍼 캐패시터 전압( $V_c$ )과 전류( $I_c$ ) 실험 파형  
Fig. 7 Experimental waveforms of voltage( $V_c$ ) and current( $I_c$ ) in super capacitor (35V/div., 3A/div., 1s/div.)

그림 6와 7은 각각 슈퍼캐패시터 충전시, 공진탱크의 전압, 전류와 회생 제동시, 슈퍼 캐패시터의 전압과 전류를 보여준다. 이 그림으로부터 ZVS 동작과 회생 제동이 동작함을 확인할 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 집전 시스템을 LLC 직렬 공진컨버터로 구성하고 슈퍼 캐패시터와 양방향 DC/DC 컨버터를 사용하여 회생 제동 시스템을 구현하였다. 실험을 통해 효율 개선과 전기 철도 분야에 유도급전 시스템의 활용 가능성을 확인하였고, 추후 제안된 유도급전을 위한 변압기 설계에 대한 연구가 진행될 예정이다.

이 논문은 지식경제부 기술료 사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## 참고 문헌

- [1] 한경희, "PEM Fuel Cell의 개선 모델링 및 유도급전 시스템 적용 연구", 동국대학교 박사학위논문, pp. 21 - 30, 2010.
- [2] 이현관, 김은수, 허동영, 이기식, 정봉근, 강성인, "LLT 변압기 적용 LLC 직렬공진컨버터 동작특성", 전력전자학회 논문지, 제11권, 제5호, pp. 409 - 416, 2006. 6.
- [3] Juan W. Dixon and Micah E. Ortúzar "Ultracapacitors + DC-DC Converters in Regenerative Braking System", IEEE AESS Systems Magazine, pp. 16 - 21, 2002. 8.