

# 온라인 전기 자동차를 위한 급전 및 집전 시스템

Gu-Ho Jung\*, Kyung-Hun Lee, Hyung-Guk Kim, Yang-Jin Cho, Bo-Yun Song, Young-Dong Son, Eun-Ha Park, Ju-Young Choi, Byung-O, Kong, Jin-Huh, Ho-Sub Son, Jung-Gu Cho, Chun-Taek Rim, Sung-Jeub Jeon\*\*

On-Line Electric Vehicles Project Team, KAIST  
Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea

## Abstract

온라인 전기자동차는 도로에 매설된 급전선로부터 유도자계를 통하여 비접촉 방식으로 전기를 집전 받아 정차 및 주행 중에 충전하는 자동차이다. 이러한 비접촉 충전을 위해서는 도로에 매설된 급전 시스템과 차량 하부에 장착된 집전 시스템이 필요하며, 급전 시스템은 다시 급전 인버터와 급전선로로, 집전 시스템은 집전 모듈(pick-up)과 집전 레귤레이터로 구성된다. 본 논문에서는 급집전 시스템 각각의 장치를 소개하며, 더불어 구축된 시스템의 성능에 대해서도 소개한다.

## 1. 서론

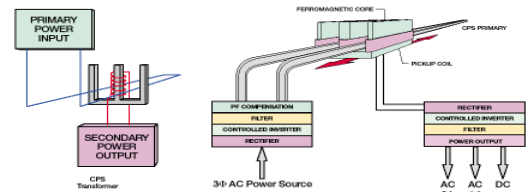
온라인 전기 자동차용 급전/집전 시스템은 급전 인버터로부터 급전선로를 통해 공급된 고주파 교류 전류로부터 발생한 고주파 유도자계를 차량 하부에 장착된 집전모듈이 전압으로 변환한 후, 집전 레귤레이터를 통해 승압을 하여 배터리를 충전하는 시스템이다. 자동차 안전기준에 정의된 도로표면과 차량 집전모듈 간의 거리인 지상고 12cm 이상에서 고효율, 고풍력, 안전성 및 신뢰성을 만족하기 위해서는 급/집전 시스템 각각 장치의 고효율 출력이 반드시 필요하며, 특히 자기장을 고려한 시스템 설계가 요구된다. 본 논문에서는 급전 인버터-급전선로-집전모듈-집전레귤레이터 각부 및 급집전 시스템 효율을 설명한다.

## 2. 본론

### 2.1 비접촉 전력 전송 장치

비접촉 전력 전송장치의 핵심 장치는 급전선로에 고주파 전류를 도통시키는 급전 인버터이며, 이러한 고주파 전류는 급전 선로 내부의 전력 케이블을 통하여 유도 자계를 발생하며, 페라이트 코어를 통해 유도 자계 path 가 만들어지며, 차량하부에 장착된 집전 모듈에서 자계가 다시 전기로 변환된다. 그리하여, 급전 인버터가 전기적, 기계적 접촉이 없이 자기적인 coupling 에 의해서 전력을 전송하여 주는 역할을 하기 때문에 비접촉 전력전송장치(Contact-less Power Supply, CPS)라고도 한다. 즉, 그림 1(a)과 같이 고주파 변압기의 1 차 권선을 도로 바닥에 길게 늘어뜨리고 코어와 2 차 권선을 움직이는 물체에 고정하면 전기적, 기계적인 접촉이 없이도 움직이는 물체에 전력을 전송할 수 있다. CPS 의 기본적인 구성은 (b)와 같이 1 차 측에 공진전류를 흘려주는 1 차측 인버터 및 1 차측 권선(Track)과 움직이는 부분인 2 차측 코어와 2 차 권선 및 고주파 정류단으로 구성이 되며, CPS 는 전기적 기계적 접촉이 없이 트랙을 따라

움직이는 물체에 파워를 공급하여 줄 수 있다. 이러한 비접촉 전력 전송 장치의 경우 1,2 차측 간의 짧은 공극 거리(1cm 이하) 및 90% 이상의 고효율을 가지며, 반도체 혹은 LCD 라인의 공장 자동화에 주로 사용된다.



〈그림 1〉 비접촉 전력 전송장치의 기본 원리 및 구성도

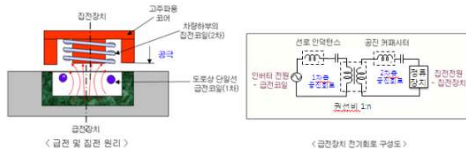
### 2.2 온라인 전기 자동차용 급전/집전 시스템

그림 1 의 짧은 공극을 갖는 공장 자동화에 적용되는 비접촉 전력전송장치와는 달리, 그림 2 의 온라인 전기 자동차는 도로 표면과 차량 하부에 장착된 집전모듈간의 간격인 지상고가 자동차 안전기준에 의해 12cm 이상으로 규정되어 있으며, 이를 만족하도록 급집전 시스템을 설계하여야 한다. 더불어 최대 효율은 60% 이상을, 최대 집전 전력은 60kW 이상, 차량 주위의 자기장 수치인 EMF(Electro-Magnetic Field)가 62.5mG(ICNIRP 권고 사항) 이하가 되도록 설계를 하였다.

그림 2(a)에서 보듯이 온라인 전기 버스는 급전 인버터 및 급전선로로 구성된 급전 시스템과 집전 모듈(pick-up) 및 집전장치로 구성된 집전 시스템으로 구성되었다. 급전인버터는 고효율 공진 제어를 통한 고주파 전류를 생성하며, 도로하부에 매설된 급전레일은 차량 주위의 EMF 를 만족하도록 설계되었으며, 차량 하부에 장착된 집전 모듈은 비접촉 유도자계를 전압으로 변환하여 주며, 레귤레이터는 변환된 저전압을 배터리 정격에 적합하도록 600V 가량으로 승압 및 충전하여주는 역할을 한다. 이러한 온라인 전기 버스의 급전 인프라 구축 구간은 전체 버스 운행 노선의 약 20% 정도를 매설하는 것을 목표로 하고 있으며, 버스 정류장, 교차로 부근, 버스 시점 및 종점, 그리고 주차장에 주로 인프라를 설치할 예정이다.



(a)개념



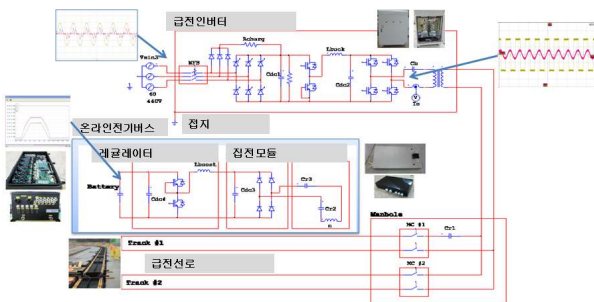
**(b) 급/집전 원리**

**<그림 2> 온라인 전기자동차의 개념 및 급/집전 원리**

그림 2(b)의 급/집전 원리에서 보듯이 급전선로에는 고주파 전류를 도통시켜 주는 고주파 케이블과 고주파 전류에 의해 유기된 자계를 위한 자계 path 를 만들어 주는 자성 코어로 구성되어 있으며, 집전 모듈까지 고효율로 자계가 도달되도록 하는 역할을 한다. 집전 모듈은 도로표면으로부터 공극 혹은 지상고 거리 만큼 떨어져 있으며, 급전선로와 마찬가지로 자계 path 를 만들어주는 자성 코어 및 전압으로 변환하여 주는 고주파 케이블로 구성되어 있다. 등가회로에서 보듯이 급전선로는 선로 인덕턴스를 지니며, 급전 인버터 내부의 공진 커패시터와 선로 인덕턴스를 공진시키며, 급전선로의 공진 주파수는 인버터 스위칭 주파수보다 수 kHz 정도 작게 설정한다. 또한, 집전 모듈의 2 차측 권선비는 수십 turn 정도, 집전 전압의 출력은 300V 이상이 되도록 설정한다.

**2.3 급/집전 시스템 전체 구성도 및 회로도**

그림 3 은 KAIST 문지동 캠퍼스에 설치된 급/집전 시스템의 전체 구성도 및 회로도를 보여준다. 급전 인버터의 파워회로는 SCR 정류기-Buck converter-단상 IGBT 인버터로 구성되어 있으며, 급전선로에는 공진형 커패시터와 세그먼트이션을 위한 절체 스위치, 그리고 고주파 케이블 및 자성 코어로 구성되어 있다. 한편, 온라인 전기버스의 집전 모듈은 자성 코어, 고주파 케이블 및 단상 diode 정류기로 구성되어 있으며, 집전 레귤레이터 내부는 300V 전압을 600V 까지 승압시키는 Boost converter 로 구성되어 있다.



**<그림 3> 급/집전 시스템 전체 구성도 및 회로도**

60m 급전선로 구간의 경우 집전 모듈 출력이 60kW 인 경우 급전인버터의 3 상 교류 입력으로부터 레귤레이터 출력까지 최대

**Reference**

[1] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April. (9 Points)

효율이 약 80% 이었으며, 인버터 파워 손실이 약 5%, 급전선로 파워 손실이 약 8%, 집전 모듈과 레귤레이터의 파워 손실이 각각 약 3.5% 이었다. 5m 급전 선로의 경우 최대 효율은 약 82% 이상이었으며, 급전선로의 손실이 전체 효율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

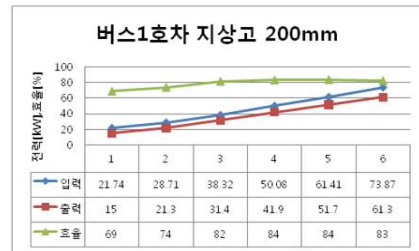
급전 인버터는 출력 용량 100W 급, IGBT 스위칭 주파수 20kHz, 출력 전류 200Arms 이며 세그먼트이션용 절체 스위치의 구동이 가능하다.

집전 모듈은 차량 하부에 5 개가 위치하며, 각각의 모듈 출력 용량은 지상고 20cm 인 경우 12kW 이며, 이는 지상고에 따라 가변되어 지상고 12cm 의 경우 모듈당 15kW 까지 가능하다.

집전 레귤레이터는 입력 최소 전압 300V, 출력 용량 60kW, 출력 DC 전압 600~700V 이며, 스위칭 주파수는 10kHz 이상이다. 냉각 방식은 수냉식을 사용하고 있으며, 배터리 BMS(Battery Management System)과 CAN 통신으로 정차 및 주행 중 충전 기능을 수행하고 있다.

**2.4 급/집전 시스템 효율**

그림 4 에서 보듯이 지상고(공극)이 20cm, 집전 출력 용량이 61.3kW 인 경우 급/집전 시스템의 최대 효율은 83%이었으며, 출력 용량이 15~61.3kW 인 경우 효율은 69~84%로 분포됨을 알 수 있었다



**<그림 4> 급/집전 시스템 효율**

**3. 결론**

본 논문에서는 온라인 전기버스용 급/집전 시스템의 전체 구성도 및 각부 장치에 대한 설명을 하였으며, 지상고 20cm 에서 집전 출력 용량이 61.3kW 인 경우 급/집전 최대 효율이 83%까지 출력됨을 확인하였다. 이는 개발 사양인 12cm 지상고, 최대 효율 60%을 만족하는 결과이며, 차후 온라인 전기 버스의 실용화를 위한 가능성을 크게 높였음을 알 수 있다. 또한, 차후에는 집전 모듈 당 집전 출력 용량 증가, 효율 개선, 급/집전 시스템 신뢰성 향상 및 최적화에 목표를 두고 개발을 지속해 나갈 예정이다. 더불어, 급전 인버터 및 집전 레귤레이터의 회로 및 효율 개선, 신뢰성 및 안전성에 최선을 다할 예정이다.

마지막으로 전기 자동차의 충전 문제를 해결하여 전기 자동차 시대를 앞당길 수 있는 온라인 전기자동차 연구에 국내 전문가들의 적극적인 참여를 기대한다.

[2] 임춘택, "전기자동차시스템", 대한민국특허 출원번호 10-2008-0135426.

[3] 서남표, "전기 자동차를 이용하는 운송 시스템", 대한민국특허 출원번호 10-2008-0086259.