

전기자동차 무선전력전송 적용 사례

1. 서론

최근 직접적인 접촉 없이도 전력을 전달할 수 있는 무선전력전송에 대한 관심이 높아지고 있다. 니콜라 테슬라에 의해 최초로 실험된 무선전력전송기술은 무선 전동칫솔과 전기 면도기, 무선주전자 등 제한적인 분야에서만 기술을 적용하여 왔다. 이렇게 제한적인 범위에서 사용되었던 무선전력전송 기술은 2007년 MIT 물리학과 마린 솔자치치 교수가 이끄는 연구팀이 자기공명이라는 새로운 무선전력전송 기술을 이용하여 2m의 거리에서 무선으로 램프전원을 공급하는 연구결과를 발표하면서 산업계 및 학계의 주목을 받게 되었다. 최근에는 다양한 방식의 무선전력전송 기술을 이용하여 다양한 전기, 전자기기에 무선으로 에너지를 공급하기 위한 연구, 개발이 진행되고 있다. 이러한 추세와 더불어 친환경 전기자동차 및 하이브리드 자동차에 무선전력전송 기술을 적용하는 연구가 진행됨에 따라 전기자동차 배터리 충전의 편의성을 제공함과 동시에 단락, 단선으로부터 안전한 무선충전 기술에 대한 연구도 같이 진행되고 있다. 본 무선전력전송 적용 사례는 현재 상용화 된 전기자동차에 (주)그린파워가 개발한 무선충전기를 적용함으로써 전기자동차의 무선충전 가능성을 확인한다. 또한, 인체 안전성, 무선충전 시 편의기능 개발, 사이트 구축 사례를 통해 전기자동차 무선충전에 필요한 요소들을 소개한다.

2. 그린파워 소개

1998년 설립한 (주)그린파워는 2003년 국내 최초로 무선전력 전송장치를 개발하여 디스플레이 및 반도체분야 제조라인의 물류 자동화장비에 적용하였으며, 이것을 시작으로 다양한 사양과 용량의 무선전력전송 장치를 개발하여 다양한 분야에 적용하고 있는 무선전력분야에 글로벌 기술선도기업

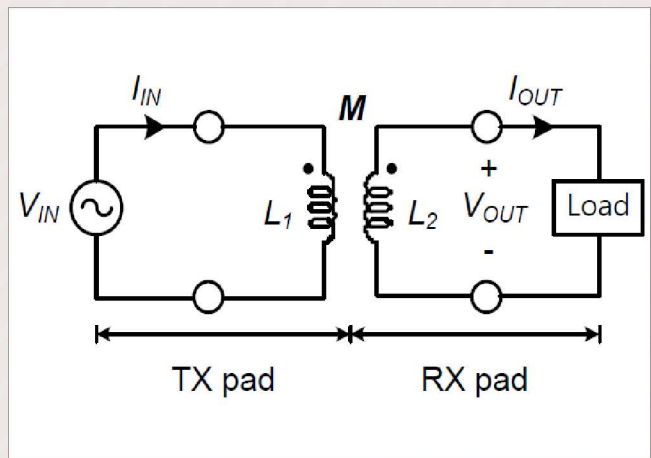


그림 1 무선전력전송 시스템 등가회로

이다. 특히, 최근 시장이 열리고 있는 전기자동차 무선충전기를 비롯하여 달리면서 충전할 수 있는 온라인 전기버스 및 무선전력공급으로 전차선이 필요 없는 트램 등을 성공적으로 개발하여 다가오는 친환경 시대를 적극 준비하고 있다.

3. 무선전력전송 시스템

그림 1은 무선전력전송 시스템의 등가회로를 나타낸다. 무선전력전송 시스템의 경우 송신 패드(Tx-Pad)와 수신 패드(Rx-Pad)로 구성되어진다. L1은 송신 패드의 자기 인덕턴스이고, L2는 수신 패드의 자기 인덕턴스를 나타낸다. 또한, 상호 인덕턴스 M을 구하면 관계식으로부터 결합계수 k 를 구할 수 있다. 일반적으로 변압기의 경우 결합계수 k는 0.98 이상이지만 무선전력전송 시스템의 경우 공극 크기 때문에 결합계수 k의 값이 다양하게 나타나게 된다.

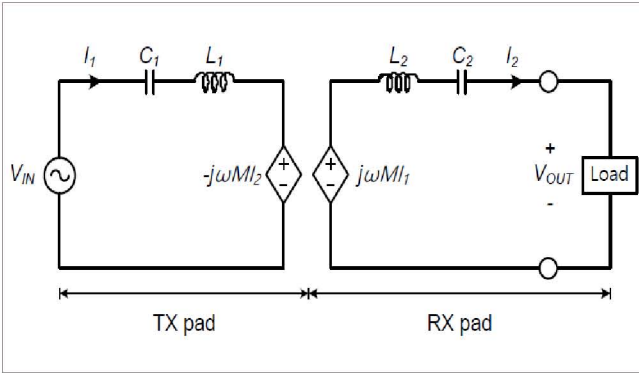


그림 2 무선전력전송 자기공진회로

3.1 자기공진 회로

1차측 송신부 전원장치 V_{IN} 은 인버터를 의미하며 송신부 자기 인덕턴스 L_1 은 송신 패드의 인덕턴스를 의미한다. 전류 제어형 전압원 $j\omega M I_2$ 로 표현된 전압원은 상호 인덕턴스 M 에 의해 수신부 전류에 종속되는 송신부 발생전압을 의미한다. 수신부 전압원 $j\omega M I_1$ 은 송신측에 흐르는 전류와 상호 인덕턴스 M 에 의해 발생하는 전압을 의미하며, 인덕턴스 L_2 는 송신 패드의 자기 인덕턴스이다. 송신부와 수신부에 각각 커패시터 C_1 과 C_2 를 삽입하여 자기 인덕턴스와 공진 시킴으로써 V_{IN} 으로부터 공급된 전력이 이상적인 조건일때 손실 없이 송신부에서 수신부로 전달된다.

3.2 전기자동차 무선전력전송 시스템 구성

그림 3은 전기자동차 무선전력전송 주요 구성을 나타낸다. 무선전력전송 시스템은 GA(ground assembly), VA(vehicle assembly)로 나누어진다. GA는 지상충전부로서 단상 220V 교류전원을 입력 받아 직류/고주파 변환장치를 통해 85kHz의 고주파 교류전원을 지상충전부 자기공진회로(GA)에 공급한다. 자기공진회로(GA) 보상을 거친 교류전원은 송전 코일로부터 자기장 형태로 변환되어 수전 코일에 에너지를 공급한다. VA는 차량충전부로서 수전 코일에서 85kHz의 고주파 교류전원을 공급받아 자기공진회로(VA)를 거쳐 직류 변환장치를 통해 전기자동차 배터리를 충전한다.

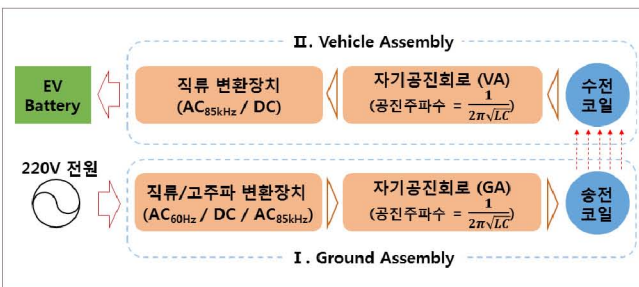


그림 3 전기자동차 무선전력전송 주요 구성



그림 4 전기자동차 무선충전기 사진
(a) 지상부, (b) 차량부, (c) 차량부 장착패키지

4. 전기자동차용 무선충전기

4.1 전기자동차용 무선충전기 지상 및 차량부

그림 4는 전기자동차 무선충전기를 나타낸다. 지상부는 직류/고주파 변환장치 및 자기공진회로(GA)를 포함하고 있다. 충전기 사용 편의성을 위하여 터치 화면식 조작 패널을 적용하였으며, RFID 카드 인식과 비상정지 기능을 내장하고 있다. 차량부(레플레이터)는 직류변환장치 및 자기공진회로(VA)를 포함하고 있다. 장착 편의성을 위하여 배터리와 체결되는 전원부, BMS와 연결되는 제어부를 일체형으로 구성되어 있으며 차량배터리 시스템 제어, 차량시동여부 감지 기능을 가지고 있다. 전기자동차 무선충전기 사양은 표 1과 같다.

표 1 전기자동차 무선충전기 사양

Specification	Unit	
Chargion Power	kW	6.6
Efficiency	%	> 90
Operating Frequency	kHz	81.38~90
FOD Recognition area	cm ²	4
X-axis miss alignment	mm	±75
Y-axis miss alignment	mm	±100
Z-axis range	mm	140~210
Pad position recognition error	mm	±50

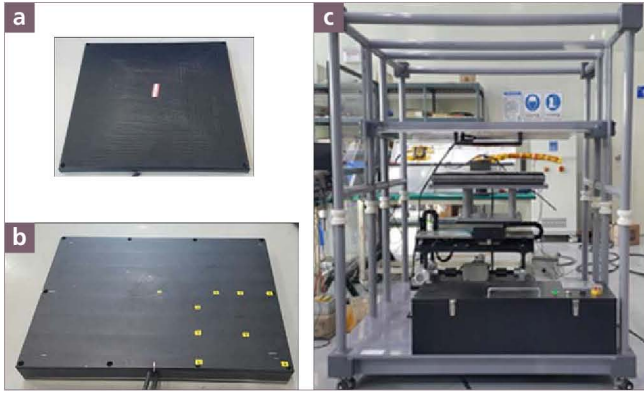


그림 5 전기자동차 무선패드
(a) 수신 패드, (b) 송신 패드, (c) 무선패드 테스트용 지그

무선충전기 출력사양은 6.6kW이며, 무선패드 정렬상태에서 효율은 90% 이상이다. 또한, 동작주파수 범위는 81.38 ~ 90kHz 이다. 송신 패드의 금속 이물질을 감지하는 FOD(foreign object detection) 기능의 감지범위는 4cm²이다. 무선패드의 오정렬 범위는 차량 진행방향(X-축)으로 ±75mm, 차량 좌우 방향(Y-축)으로 ±100mm 이다. SAE J2954 WPT2/Z2 에 맞추어 무선패드간 거리는 지면으로부터 140 ~ 210mm 를 만족한다. 비전시스템을 이용한 무선패드 위치인식 기능 오차범위는 송신 패드의 중심으로부터 ±50mm 이다. 또한, 지상 부와 차량 부 통신에 WiFi 통신을 이용한다.

그림 5는 전기자동차용 무선패드를 나타낸다. 무선패드는 수신 패드(Rx-Pad)와 송신 패드(Tx-Pad)로 나눌 수 있다. 두 무선패드 모두 SAE J2954 패드 레퍼런스 디자인을 참고하여 제작하였다. 무선패드의 공극 및 오정렬에 따른 출력, 효율 등 전기적 특성 분석을 위해 무선패드 테스트용 지그를 제작하여 특성시험을 진행하였다.

4.2 무선충전기 차량 부 장착 및 전자파 측정

그림 6은 무선충전기 차량 부를 나타낸다. 충전시험을 위한 전기자동차로 소울 EV를 선정하였으며, 차량하부에 레귤레이터 및 수신 패드가 장착될 위치를 선정하였다. 수신 패드의 장착 위치는 차량바닥 구조 및 소울 EV의 지상고를 고려하였으며, 주행 시 충격이나 추가적으로 발생할 수 있는 손상 요인을 최소화 하는 위치를 선정하였다. 충전 시 수신 패드에서 레귤레이터까지의 고전압 전선의 길이를 최소화 시키기 위한 레귤레이터 위치를 고려하였으며, 차량에 내장된 배터리로 출력선이 배치되기 용이한 위치에 위치시켰다.

그림 7은 전기자동차 무선충전기 전자파 측정 사진을 나타낸다. 무선패드는 자기장을 이용하여 전기에너지를 전달하는 방식을 사용하기 때문에 유선충전 방식보다 직접적인 감전사고에 안전할 수 있지만, 인체에 유해할 수 있는 전자파를



그림 6 무선충전기 차량 부
(a) 레귤레이터 및 수신 패드 (b) 확대사진



그림 7 전기자동차 무선충전기 전자파 측정 사진

발생하기 때문에 인체안전성 연구가 반드시 필요하다. 이러한 이유로, 전기자동차 무선충전기의 인체안전성연구를 진행하였다. 전자파 노출량 평가는 국제가이드라인을 따라 진행하였으며, 다양한 시험과 시뮬레이션을 통하여 인체에 무해한 전기자동차 무선충전 환경을 구현하였다.

4.3 무선패드 위치인식 기능 및 무선충전 사이트 구성

그림 8은 무선패드 위치인식 기능 시험 사진을 나타낸다. 무선패드간 정렬상태는 충전시간 단축과 효율을 결정하는 중요한 요소이다. 이러한 이유로, 비전시스템을 개발하여 운전자에게 무선패드 위치 정렬에 도움을 주는 기능을 적용하였다. 이 기능은 실시간으로 송신 패드와 수신 패드의 중심간 거리를 운전자에게 제공함으로써 주행조작을 통하여 무선패드 정렬상태 오차를 줄일 수 있는 기능이다.

그림 9는 전기자동차 무선충전 사이트 사진을 나타낸다. 실증 사이트는 (주)그린파워 주차장에 위치하고 있고, 전기자동차를 출퇴근용으로 이용하여 매일 차량의 운행 및 무선충전 연계 시험을 진행하고있다.

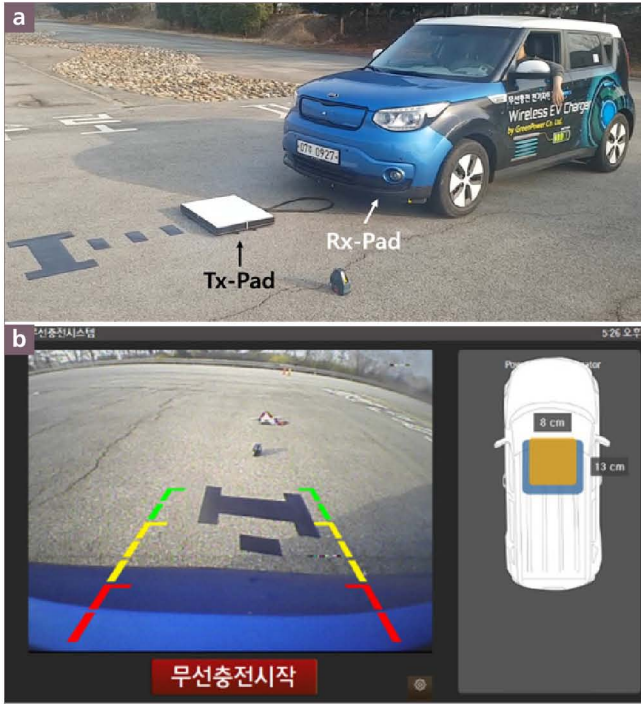


그림 8 무선패드 위치인식 기능 시험 사진
(a) 무선패드 위치인식 시험사진, (b) 무선패드 위치인식 화면



그림 9 전기자동차 무선충전 사이트 사진
(a) 무선충전 사이트, (b) 무선충전기 충전화면

충전 중에는 충전기 지상부 터치화면을 통해 다음과 같은 정보를 확인할 수 있다.

- 배터리 충전잔량, 충전 경과시간, 완충까지 남은시간
- 현재까지 충전량, 충전 단가, 충전 금액

이 정보 중 배터리 충전잔량, 완충까지 남은시간은 차량의 배터리관리시스템에서 정보를 입력받아 WiFi 통신을 통하여 충전기 지상부로 전달된다.

5. 결론

본 무선전력전송 적용 사례에서는 상용화된 전기자동차에 (주)그린파워가 개발한 전기자동차 무선충전기를 적용함으로써 전기자동차의 무선충전 가능성을 확인하였다. 또한, 인체 안전성 평가를 통하여 인체에 무해한 전기자동차 무선충전 환경을 구현 하였다. 무선패드 위치인식 기능을 통해 운전자에게 무선패드간 정렬상태 정보를 실시간으로 제공해줌으로써 무선패드간 정렬상태 오차를 줄일 수 있는 환경을 구축하였다. 현재, (주)그린파워 주차장에 무선충전 사이트 구축하여 매일 차량의 운행 시험을 진행하고있다. 본 사례를 통해 전기자동차의 보급이 확대되는 환경에서 무선충전기 개발 시 고려해야할 사항과 방법들을 확인하였다. 향후, (주)그린파워는 무선전력전송 기술을 통해 자동차업계와 협력하여 전기자동차 충전시스템에 적용 및 보급할 계획이다. 🏢

한정호 (韓廷虎) 그린파워 연구팀 과장

2016년 서울과학기술대 철도전문대학원 철도전기신호공학과 졸업(공학).

2016년 ~ 현재 (주)그린파워 연구팀 과장.

