

6.6kW급 무선전력전송 시스템의 X, Y 오프셋에 따른 효율 측정

박민규, 반투안, 유승덕, 임성우, 박기준
한국전력공사 전력연구원

Efficiency measurements for 6.6kW WPT system according to the X and Y offsets

Mingyu Park, Van Thuan Nguyen, Seung-Duck Yu, Seong-Woo Yim, Kijun Park
Research Institute, Korea Electric Power Corporation

Abstract - 전기자동차 충전용 6.6kW급 무선전력 송수신 패드 장치를 이용하여 X, Y 오프셋에 대한 효율을 측정하였다. 미국 자동차 기술협회의 전기자동차 무선충전에 관한 규격 SAE J2954에 제시된 성능시험 장치에 관한 내용을 참고하여 X, Y 오프셋에 대한 효율을 측정할 수 있는 장치를 구성하여 실험을 진행하였다.

1. 서 론

최근 대기오염과 온실가스 등의 문제로 인해 전기자동차에 대한 관심이 커지고 있다. 실제로 전기자동차의 보급률은 우리나라뿐만 아니라 전세계적으로 늘고 있고, 전기자동차 시장은 앞으로 더욱 빠르게 성장할 것으로 예상된다.

현재 전기자동차는 대부분 플러그인 방식을 사용하여 배터리를 충전하는데 보통 이 방법은 사용자가 직접 플러그를 충전기에 꽂아 사용해야하기 때문에 안전성과 편의성에 대한 문제를 안고 있다.[1] 무선전력 전송을 이용하면 플러그인 방식의 문제점을 보완할 수 있지만, 다음과 같은 특징으로 인해 많은 연구가 필요하다. 전기자동차용 무선충전은 수 kW의 전력을 전송하기 때문에 다른 무선전력전송 분야에 비해 높은 전송효율을 요구하며 무선전력전송 송신코일과 수신코일의 상대적인 위치에 따라 자기결합도와 전송효율이 변화한다.[2] 차량에 따라 이 두 코일 간의 이격 거리가 달라질 수 있고, 주차하는 상황에 따라 정렬상태가 변화하기 때문에 이러한 특성을 고려하여 무선전력전송 시스템을 설계해야 한다. 따라서 무선전력전송 시스템의 수신코일과 송신코일의 상대적인 위치에 따른 특성을 분석하기 위해 IEC 61980[3] 과 SAE J2954[4]를 참고하여 성능평가 장치를 구성하였으며, X, Y 오프셋에 대한 효율을 측정하였다. 본 논문에서는 Series-Series (SS) 공진회로를 사용한 자기공명 방식의 전기자동차용 6.6kW급 무선전력전송 시스템의 효율을 측정하였다.

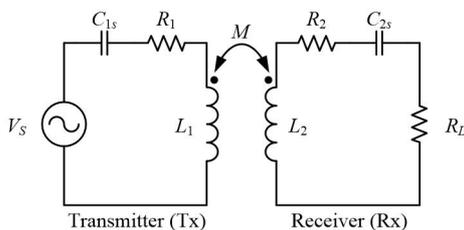
2. 본 론

2.1 무선전력전송 시스템

본 논문에서 다룬 6.6kW급 무선전력전송 시스템은 85kHz에서 동작하는 자기공명방식의 시스템이다. 구조가 간단한 SS공진회로를 사용하였으며, 송신코일과 수신코일의 이격 거리가 200mm일 때 사용할 수 있도록 설계하였다. SS공진회로의 구조는 그림1과 같으며, SS공진회로의 직렬 커패시터 C_{1s} 와 C_{2s} 값은 다음 식에 의해 간단히 구할 수 있다.[5]

$$C_{is} = \frac{1}{\omega_0^2 L_i}, \quad (i = 1, 2) \quad (1)$$

식 (1)에서 ω_0 는 공진주파수 f_0 로부터 $\omega_0 = 2\pi f_0$ 의 식에 의해 구해지는 각주파수이며, L_i 는 송신코일과 수신코일의 인덕턴스이다. 공진회로에 사용한 파라미터는 표 1과 같다.



〈그림 1〉 SS 공진회로의 구조도

〈표 1〉 SS공진회로의 파라미터

항목	값	단위
L_1	132.5	μH
L_2	115.9	μH
C_{1s}	26.5	nF
C_{2s}	30.3	nF

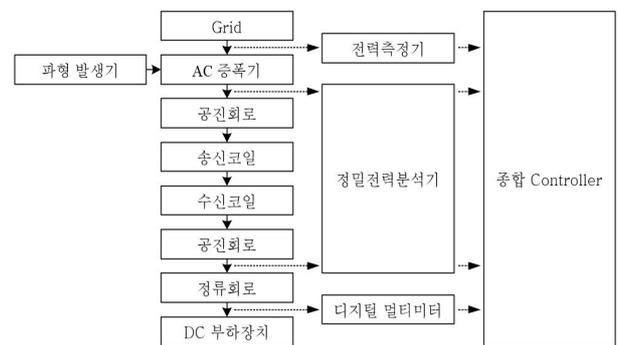
2.2 효율측정 시스템

그림 1의 SS공진회로를 이용하여 전송효율을 측정하기 위해 아래의 표 2와 같은 장치를 사용해 측정시스템을 구성하였다. 효율측정시스템 구성도는 그림 2와 같다.

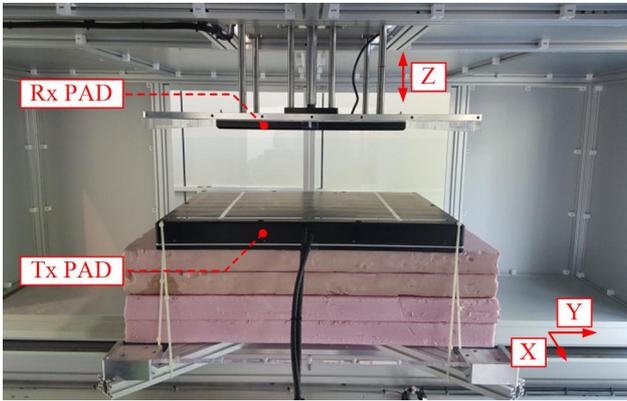
IEC 61980과 SAE J2954에 따르면 무선전력전송의 효율은 무선전력전송 충전기에 입력되는 전력에서부터 DC 부하장치나 배터리에 연결되는 출력전력의 효율을 뜻한다. 일반적인 무선충전기의 경우에는 60Hz의 입력전력을 DC로 정류 한 후, 인버터를 이용해 무선전력전송에 필요한 주파수의 AC로 변환하여 송신코일 및 공진회로에 공급한다.

〈표 2〉 효율측정 시스템 구성 장치

항목	주요사항
파형 발생기	Inverter의 파형 모의 Frequency: > 85 kHz
AC 증폭기	Power: > 7 kW Voltage: > 400 V Current: > 20 A
DC 부하장치	EV Battery Simulation Power dissipation: > 10 kW DC 500 V 이상
정밀전력분석기	Frequency: > 85 kHz Voltage: > 400 V AC Current: > 20 A AC
전력측정기	
디지털 멀티미터	Voltage: > 400 V DC Current: > 20 A DC
종합 Controller	LabVIEW GPIB, Serial통신, 다중접속
3D 이송장치	X, Y: ± 800 mm Z: 0~500 mm



〈그림 2〉 효율측정시스템 구성도



〈그림 3〉 무선전력전송 성능평가용 자동 이동 장치

특성을 평가할 때, 전원 입력부에 인버터를 적용하면 다양한 조건에 대한 실험이 어렵기 때문에 다양한 공진회로와 송, 수신 코일, 전원과 부하에 대해 실험할 수 있도록 과형발생기를 통해 원하는 입력전력을 만들어낼 수 있는 AC 증폭기를 입력 전력원으로 사용했다.

송신코일에서 수신코일로 전송된 전력은 정류회로를 거쳐 DC로 변환되어 배터리나 전기자동차의 부하에 연결된다. 이러한 전력 변환 및 전송을 거쳐 각 부분의 손실에 의해 무선충전 효율이 결정된다. 따라서 본 측정시스템은 전력측정기로 입력되는 AC전력, 디지털 멀티미터로 출력되는 DC전력을 측정하여 무선충전 효율을 측정하며, 송신코일에 입력되는 전력 및 수신코일로 전송된 전력 또한 측정하여 각 부분에서 얼마만큼의 손실이 발생했는지에 대해서도 측정할 수 있도록 했다.

X, Y 오프셋에 대한 효율을 측정하기 위해 그림 3과 같이 자동 이동 장치를 구성했다. 송신패드(Tx PAD)는 이동장치의 금속면에서 200mm 이격시켜 고정하였으며 정렬상태($X = Y = 0$)에서부터 X, Y 방향으로 $\pm 80\text{mm}$ 까지 이동할 수 있다. 수신패드(Rx PAD)는 알루미늄 판에 부착하여 Z 방향으로 이동하며 다양한 Z-gap에 대해 실험 할 수 있다.

2.3 측정 결과

그림 3과 같이 자동 이동 장치에 송신패드를 수신패드를 부착하여 X, Y 오프셋에 따른 송수신패드의 전송효율을 측정하였다. 전송효율이라는 용어는 송신부의 입력전력과 수신부의 출력전력에 대한 효율로, 인버터가 아닌 과형발생기와 AC 증폭기를 사용하여 입력전력을 공급하였기 때문에 전체 효율이 아닌 송수신 전송효율을 측정하였다. 송신코일과 수신코일의 간격 Z는 200mm, 부하저항 R_L 은 10 Ω 이며, X축은 -100mm부터 100mm까지, Y축은 -200mm부터 200mm까지 20mm 간격으로 측정하여 총 231개의 포인트에 대한 송수신 전송효율을 측정하였다.

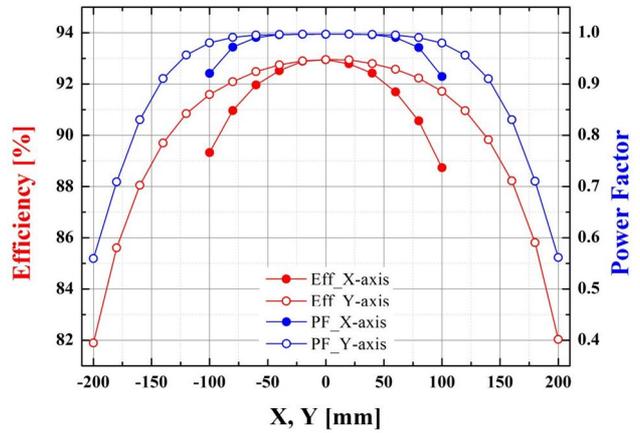
2.3.1 X-Y 오프셋에 따른 효율

그림 4는 Z = 200mm일 때의 측정값 중 X = 0인 지점과 Y = 0인 지점의 전송효율과 역률을 나타낸다. 정렬상태에서 93%의 최대 전송효율을 보였으며, 역률이 1에 가까운 것을 봤을 때 공진이 이뤄졌다는 것을 알 수 있다. 송신패드가 X축 방향으로 짧고, Y축 방향으로 길기 때문에 X 오프셋에 대한 전송효율과 역률의 변화가 더욱 큰 것을 알 수 있다.

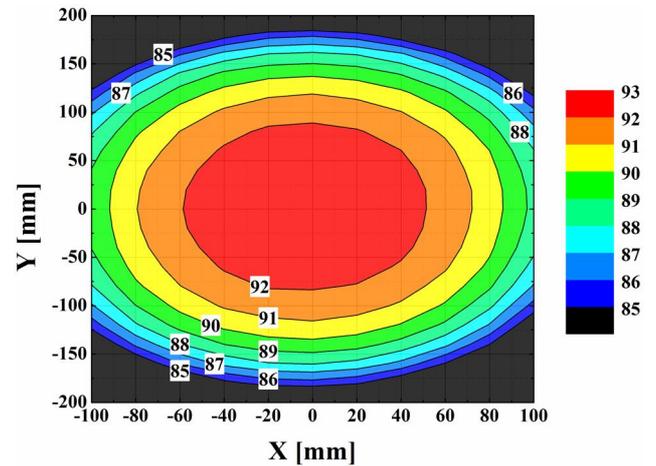
그림 5는 등고선 그래프로 나타난 X-Y 오프셋에 대한 전송효율이다. 이 그래프를 보면 X-Y 오프셋에 대한 전송효율의 분포와 경향성을 쉽게 파악할 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 X-Y 오프셋에 대한 무선전력전송 송수신패드의 전송 효율을 측정하기 위해 자동 측정이 가능한 성능평가 장치를 구성하여 전송효율을 측정하였다. X-Y 오프셋에 대한 전송효율의 측정결과를 통해 정렬상태와 미 정렬 상태에서의 전송효율의 차이와 어느 범위에서 원하는 수치 이상의 전송효율이 측정되는 지 알 수 있었다. 본 논문에서 소개한 효율측정 시스템을 사용하면 SS공진회로와 6.6kW급 송, 수신 패드뿐만 아니라 여러 종류의 공진회로와 송, 수신 패드에 대해서도 비슷한 방법을 통해 빠르게 실험을 할 수 있으며 무선전력전송 시스템을 최적화 하는 데에 도움이 될 것으로 사료된다.



〈그림 4〉 X-Y 오프셋에 따른 전송효율과 역률



〈그림 5〉 X-Y 오프셋에 따른 전송효율

본 연구는 한국산업기술평가관리원(10052912)과 한국전력공사(R15DG03)의 지원을 받아 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 문용기, "전기자동차용 무선전력전송 기술 동향", 전력전자학회지, 18(4), pp. 40-44, 2013
- [2] Nan Liu and Thomas G. Habetler, "Design of a Universal Inductive Charger for Multiple Electric Vehicle Models", IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 11, pp. 6378-6390, Nov. 2015.
- [3] IEC 61980-1, Electric vehicle wireless power transfer (WPT) systems - Part 1: General requirements, 2015
- [4] SAE J2954, Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-In/Electric Vehicles and Alignment Methodology, 2010
- [5] Chwei-Sen Wang, Oskar H. Stielau, and Grant A. Covic, "Design Considerations for a Contactless Electric Vehicle Battery Charger", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 5, pp. 1308-1314, Oct. 2005.