

# 두 개의 송신코일을 갖는 자기공진 방식의 무선전력전송 시스템 설계

유현우, 안지수, 이병희  
한밭대학교

## Design of Magnetic Resonance Wireless Power Transfer System With Two Transmitter

Hyun Woo You, Ji-Su An, Byoung-Hee Lee  
Hanbat National University

### ABSTRACT

현대의 많은 Internet of Thing (IoT)기기의 충전방식이 유선 충전이 아닌 무선 충전을 사용함에 따라 다양한 연구들이 활발히 이루어지고 있다. 그 중 공진을 이용한 자기공진 방식의 무선충전 시스템은 전자기유도 방식보다 먼 거리에서 충전이 가능하고 공진부 코일의 중심점을 맞추지 않아도 효율에 큰 차이를 보이지 않는 장점이 있다. 점점 더 무선충전이 가능한 기기들이 많아짐에 따라 소모전력이 큰 기기들의 무선전력전송이 많이 연구되고 있다. 본 논문에서는 2개의 송신코일을 사용하여 기존의 1Transmitter - 1Rectifier (1Tx-1Rx) 방식보다 대용량 전력을 전송할 수 있음을 검증하고자 한다.

### 1. 서론

최근 가까운 거리에서 사용되는 전자기유도 방식보다 전력 전송 거리가 긴 공진을 이용한 자기공진 방식의 무선 전력 시스템에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1]-[2]</sup> 기본적으로 자기공진을 이용한 무선전력전송 시스템은 한 개의 송신코일과 한 개의 수신코일로 구성되는 1Tx-1Rx의 형태를 가지고 있다. 현대에는 더 큰 소모 전력을 요구하는 전자기기들이 많아지고 있고, 이와 같은 방식의 무선전력전송 시스템은 전송하는 전력량의 한계가 있다. 본 논문에서는 전송되는 전력량의 한계에 대한 대안으로 두 개의 송신코일과 한 개의 수신코일로 구성되는 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템을 제작하고 기존의 시스템과 비교하여 검증하고자 한다.<sup>[1]</sup>

### 1. 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템

본 논문의 무선전력전송 시스템은 그림 1과 같이 송신부에는 2개의 Half-bridge와 2개의 송신코일을 배치하고, 수신부에는 1개의 수신코일과 Full-bridge rectifier로 구성된다. 각각의 송수신부 코일은 서로 다른 코일간의 커플링계수를 가지게 되고 Tx1과 Rx간의 커플링계수와, Tx2와 Rx 사이의 커플링계수가 동일하면 2Tx 시스템이 더 높은 효율을 달성하고, 둘 중 하나의 Tx가 Rx에 약하게 커플링 되면 1Tx 시스템이 더 나은 효율을 가지게 된다.<sup>[3]</sup>

일반적으로 상호 인덕턴스의 정의에 따라 2차측 코일에서 유도된 전압은 다음과 같다.

$$V_2 = M \frac{di_1}{dt} = k \sqrt{L_1 L_2} \frac{di_1}{dt} \quad (1)$$

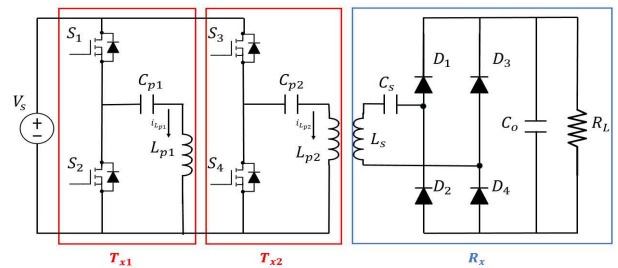


그림 1 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 회로  
Fig. 1 2Tx-1Rx Wireless Power Transfer System Circuit

Biot-Savart의 법칙에 의해 원형 코일에 전류가 흐를 때, 자계의 세기는 다음과 같은 식으로 나타낸다.

$$H = \frac{nI}{2(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} r^2 [A/m] \quad (2)$$

위의 수식에서 r은 코일의 반지름, a은 코일 중심에서의 거리, I는 코일에 흐르는 전류이다. 그러므로 각 코일의 자계를  $H_1, H_2$  라고 하면 총 자계의 세기는 다음의 수식으로 구할 수 있다.

$$H = H_1 + H_2 = \quad (3)$$

$$\frac{n \cdot i_{Lp1}}{2(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} r^2 + \frac{n \cdot i_{Lp2}}{2(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} r^2 = \frac{n \cdot 2i_{Lp1}}{2(r^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} r^2$$

위의 수식과 관련하여 수신코일에는 각 송신코일에서 발생하는 자계의 합을 받아 유도전류가 흐르게 된다. 본 논문에서는 그림 2처럼 두 개의 송신코일과 한 개의 수신 코일이 수평으로 각 송신코일 사이에 수신코일이 위치한 형태이다. Rx와 Tx1, Rx와 Tx2 간의 간격을 100 mm로 맞추고, 각 코일의 인덕턴스  $L_{p1}, L_{p2}, L_s$ 을 166  $\mu$ H로 맞추고, 그에 따른 직렬 매칭 커패시터의 커패시턴스를  $C_{p1}, C_{p2}, C_s$ 을 15 nF으로 맞춘다.

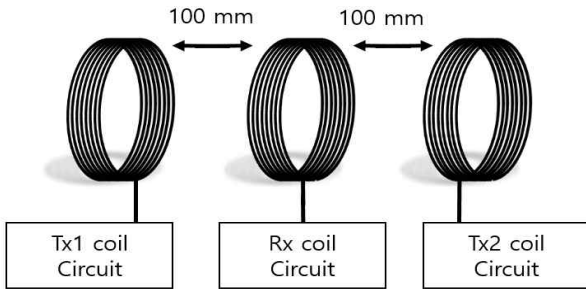


그림 2 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 구조  
Fig. 2 2Tx-1Rx Wireless Power Transfer System Structure

### 3. 실험 결과

송신부 코일 및 수신부 코일은 헬리컬 모양의 코일로 제작하였다.

표 1 제작된 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 사양  
Table 1 Specifications of the Manufactured 2Tx-1Rx Wireless Power Transfer System

Frequency	100 [kHz]	$R_L$	13 [ $\Omega$ ]
$L_{p1}$ , $L_{p2}$ , $L_s$	166 [ $\mu$ H]	$C_{p1}$ , $C_{p2}$ , $C_s$	15 [nF]

표 2 기존의 1Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 사양  
Table 2 Specifications of the Manufactured 1Tx-1Rx Wireless Power Transfer System

Frequency	90 [kHz]	$R_L$	20 [ $\Omega$ ]
$L_{p1}$ , $L_s$	128 [ $\mu$ H]	$C_{p1}$ , $C_s$	19.8 [nF]

표 2는 기존의 1Tx-1Rx의 시스템 사양이다. 비슷한 사양의 실험을 비교해본 결과 기존 송신코일이 한 개 뿐이던 시스템에 비해 2Tx-1Rx 시스템은 부하에 더 큰 전력을 전달할 수 있는 것으로 검증된다.

그림 3은 표 1의 사양과 같이 제작된 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 사진이다.

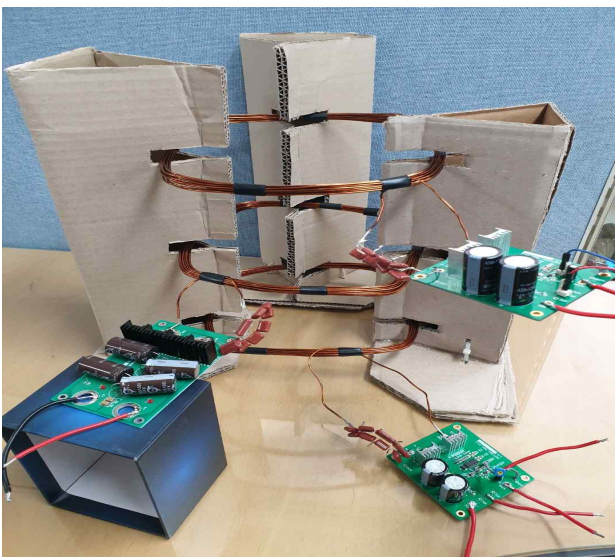


그림 3 제작된 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템  
Fig. 3 Manufactured 2Tx-1Rx Wireless Power Transfer system

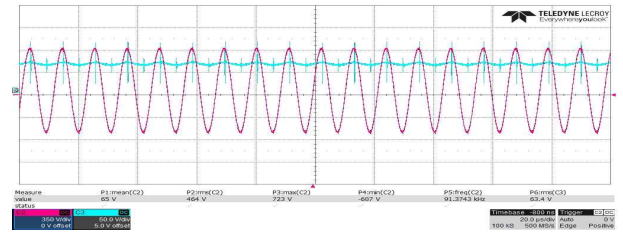


그림 4 1Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 결과 파형  
Fig. 4 Waveforms of 1Tx-1Rx Wireless Power transfer system

그림 4는 입력전압은 115 V, 입력전류는 2.5 A일 때의 1Tx-1Rx 시스템의 실험결과 파형이다. 출력전압은 63.44 V에 출력 전류는 3.168 A, 출력전력은 약 201 W, 효율은 70 %이다.

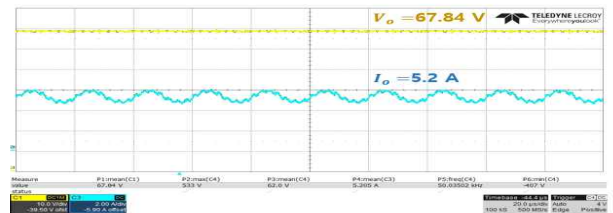


그림 5 2Tx-1Rx 무선전력전송 시스템 결과 파형  
Fig. 5 Waveforms of 2Tx-1Rx Wireless Power transfer system

그림 5는 입력전압은 130 V, 입력전류는 4.93 A일 때의 2Tx-1Rx 시스템의 실험결과 파형이다. 출력전압은 67.84 V에 출력 전류는 5.2 A, 출력전력은 약 352.8 W, 효율은 55 %이다.

### 4. 결론

기존의 한 개의 송신코일을 사용하는 시스템보다 2개의 송신 코일을 사용하여 무선전력전송을 하는 방식을 요구 전력이 큰 기기에 대한 대안방법으로 실험을 통하여 검증하였다. 고주파 해석이 가능한 시뮬레이션인 HFSS나 Smith Chart등을 통해 보다 정확한 매칭 임피던스 측정을 하고 송신코일과 수신코일 간의 커플링계수 조절을 통하여 효율면에서도 우수한 특성을 가지는 무선전력전송 시스템에 관하여 연구할 계획이다.

### 참고 문헌

- [1] D. Ahn and S. Hong, "A transmitter or a receiver consisting of two strong coupled resonators for enhanced resonant coupling in wireless power transfer," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 61, No. 3, pp. 1193-1203, Mar. 2014
- [2] M. Soljagic, A. Kurs, and A. Karalis, "Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances," Sci Express, pp. 83-86, 2007.
- [3] P. B. Roemer, W. A. Edelstein, C. E. Hayes, S. P. Souza, and O. M. Mueller, "The NMR Phased Array," Magn. Reson. Med., vol. 16, no. 2, pp. 192 - 225, 1990.