

자기유도 방식의 3.3kW급 무선전력전송회로 개발

오광교

한국생산기술연구원 동력부품소재그룹

Development of 3.3kW Inductive Power Transfer Circuit

Kwang Kyo Oh

Automotive Components and Materials R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology

ABSTRACT

본 논문에서는 자기유도 방식의 3.3kW급 무선전력전송회로의 설계 및 실험결과를 제시한다. 본 논문에서 고려하는 무선전력전송회로는 전기차 무선충전에 적용하는 것을 염두에 두고 이격거리는 17.5cm를 기준으로 하는 한편, 최근 전기차 무선충전 분야의 표준화 동향을 고려하여 동작주파수 범위는 85kHz 내외로 유지하는 것을 설계사양으로 채택하였다. 또한, 전기차 무선충전에 있어서 급전단과 수전단의 이격거리, 정렬오차 등의 변동으로 인한 자기 결합도의 변동이 있을 수 있음을 감안하여 이를 설계에 반영하였다. 설계사양을 검증하기 위해 실험용 회로를 구성하였고 이에 대한 효율시험 결과를 제시하였다.

1. 서론

무선전력전송은 편리성으로 인하여 모바일 기기, 가전, 의료기기, 전기자동차 등 다양한 분야에서 많은 관심을 얻고 있다. 특히, 전기자동차 분야의 경우, 지구 온난화 등의 문제로 인하여 향후, 빠른 시장성장이 예상되고 있고 전기자동차의 보급에 필수적인 편리한 충전 인터페이스로서 무선충전 방식에 대한 기대가 높아지고 있다.

무선전력전송 기술은 각 응용분야에 따라 제각기 다른 특징을 갖는데, 전기자동차 무선충전의 경우, 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, 전송용량이 수 kW 이상으로서 타 응용분야에 비해서 높은 편이다. 따라서, 전기자동차 무선충전에 있어서는 전송효율이 매우 중요하다고 할 수 있다. 둘째, 급전단과 수전단 사이의 이격거리는 15cm 내외이다. 무선전력전송 방식은 크게 자기유도 방식과 전자기파 방식으로 대별되는데, 전기자동차 충전의 경우, 통상적인 이격거리를 고려하면 자기유도 방식이 적합함을 알 수 있다. 다른 한편으로, 급전단과 수전단 사이의 이격거리는 차량의 종류에 따라서 달라질 수 있다. 또한, 정렬 상태 주차 상태에 따라서 달라지기 때문에, 급전단 코일과 수전단 코일의 자기 결합도가 일정하지 않다는 점을 특징으로 한다. 셋째, 이종의 급전단과 수전단 사이의 호환성이 중요하다. 호환성의 확보를 위해서 미국 자동차 공학회 등을 중심으로 표준규격을 제정하기 위한 움직임이 있고 최근, 그 결과 중의 하나로서 동작주파수를 81.38kHz~90.00kHz로 정하였다.

이러한 점을 고려하여, 본 논문에서는 이격거리 17.5cm를 기준으로 하여 81.38kHz~90.00kHz 주파수 범위에서 동작하는 3.3kW급 자기유도형 무선전력전송회로를 설계하고 이에 대한 실험결과를 제시하고자 한다. 앞서 기술한 바와 같이 전기자동차

차 무선충전의 경우, 급전단과 수전단의 이격거리 및 정렬상태의 변동 등으로 인하여 자기 결합도가 변동될 수 있다는 특징이 있다. 자기 결합도의 변동은 자기유도형 무선전력전송회로의 공진주파수에 영향을 주는데, 전기자동차 무선충전 응용의 경우, 이러한 변동에도 불구하고 표준규격에서 정한 주파수 범위에서 동작해야 한다는 특징이 있다. 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 회로를 설계, 제작하고 실험결과를 제시한다.

2. 자기유도 방식의 무선전력전송회로 설계결과

본 논문에서는 전기자동차 무선충전의 응용을 염두에 두고 다음 사양의 자기유도형 무선전력전송회로를 설계하였다.

표 1 무선전력전송회로 시스템 사양

Table 1 System specification for the IPT circuit

입력전압	DC 400V
출력전압	DC 300~400V
출력용량	3.3kW
동작주파수	81.38~90.00kHz
자기결합도	0.25

설계절차는 참고문헌^{[1][2]}를 참고하여 다음과 결과를 얻었다.

표 2 무선전력전송회로 설계결과

Table 1 Design result for the IPT circuit

L_p	153uH
L_s	153uH
C_p	30nF
C_s	30nF
M_{ps}	38uH

이상의 설계사양을 적용할 시에 무선전력전송회로의 전압전달 이득과 입력 임피던스의 위상은 그림 1과 같다. 그림 1을 통해서 알 수 있는 바와 같이 설계된 회로는 동작 주파수 대역에서 적절한 입출력 전압전달비를 갖는 한편, 입력 임피던스는 양의 값으로서 영전압 스위칭이 이루어질 것임을 알 수 있다.

참고로 무선전력전송회로 설계시에 자기 결합도는 0.25로 가정하였는데, 이는 사전에 대략적으로 파악해 두어야 할 값으로서 참고문헌^[1]의 설계절차를 따르기 위해서는 반드시 필요한 값이다. 본 논문에서는 무선전력전송회로의 사전제작 경험을 바탕으로 0.25를 설계시의 기준값으로 선정하였다.

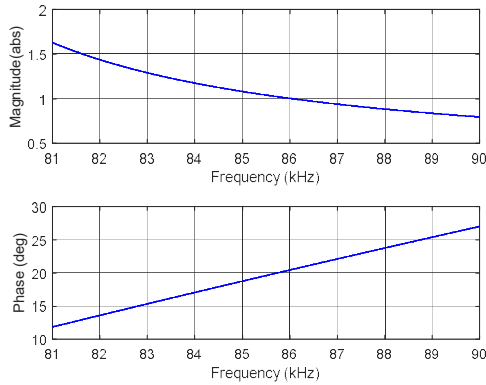


그림 1 설계사양에 따른 주파수 응답
Fig. 1 Frequency response for designed circuit

3. 자기유도방식의 무선전력전송회로 실험결과

설계된 회로의 실험을 위해서 그림 2와 같이 무선전력전송 회로를 구성하였다.

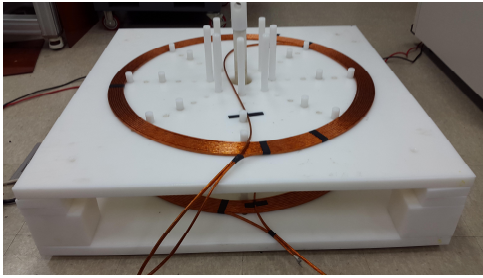


그림 2 실험용 무선전력전송회로
Fig. 2 IPT circuit for experiment

제작된 무선전력전송회로의 사양은 표 3과 같다. 표 3을 통해서 실험용 회로의 사양은 설계사양과 유사함을 알 수 있다.

표 3 무선전력전송회로 실험사양
Table 3 IPT circuit specification for experiment

L_p	152.44 μ H
L_s	155.90 μ H
C_p	29.64nF
C_s	29.74nF
M_{ps}	37.92 μ H

이격거리 17.5cm 조건에서 33kW 전송시의 급전단과 수전단측 전류파형은 그림 3과 같다.

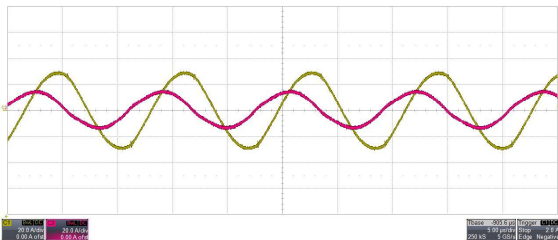


그림 3 급전단과 수전단 전류파형
Fig. 3 Current waveform of coils

제작된 무선전력전송회로의 주파수 응답에 대한 시뮬레이션 및 측정결과는 그림 4와 같이 유사함을 알 수 있었다.

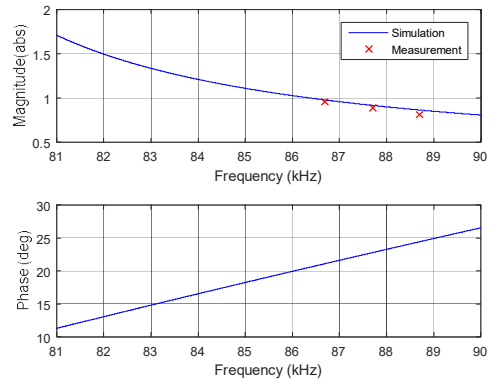


그림 4 주파수 응답 시뮬레이션 및 측정결과
Fig. 4 Simulated and measured results for frequency response

효율시험결과 3.3kW 전력전송 조건에서 92% 내외의 효율을 확보할 수 있음을 확인하였다.

표 4 효율시험 결과
Table 4 Experiment result for efficiency

	15cm	17.5cm	20cm
1.1kW	87.59	87.15	85.08
2.2kW	92.22	91.74	90.51
3.3kW	93.63	92.88	91.95

3. 결론

3.3kW급 자기유도형 무선전력전송회로의 설계 및 실험결과를 제시하였다. 전기자동차 무선충전 조건을 고려하여 이격거리를 설계사양으로 고려하였고 동작주파수 범위는 최근 표준화 동향을 고려하여 81.38~90.00kHz 범위로 정하였다. 또한, 전기자동차 무선충전 응용에 있어서는 이격거리 및 정렬오차 등의 변동으로 인하여 자기 결합도가 변동될 수 있음을 감안하여, 다양한 조건에서 급전단과 수전단 사이의 전압 전달비가 적절하게 유지시키는 것을 설계목표로 하였다. 제작된 무선전력전송회로에 대한 실험 결과, 전압 전달비의 측정치가 설계치에 근접함을 알 수 있었고 이격거리 17.5cm 조건에서 3.3kW 전력전송시의 효율은 92%를 상회함을 확인하였다.

이 논문은 한국생산기술연구원 기관고유사업(PER15260)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

- [1] 오광교, "자계결합도의 변동을 고려한 전기차 충전용 무선 전력전송회로 설계", 전력전자학회, 2015.
- [2] SangCheol Moon, Bong Chul Kim, Shin Young Cho, Chi Hyung Ahn, and Gun Woo Moon, "Analysis and Design of a Wireless Power Transfer System an Intermediate Coil for High Efficiency", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 61, No. 11, pp. 5861-5870, 2014, Nov.