

2차원 송수신코일을 가지는 무선전력전송시스템의 모델링

최용오, 설원규, 강병극, 정세교
경상대학교

Modeling of wireless power transfer system with to dimensional transmit coil

Yongoh Choi, Won-Gyu Seol, Byeong-Geuk Kang, Se-kyo Chung
Gyeongsang National University

ABSTRACT

In the magnetically coupled wireless power transmit (WPT), the study of the multi-dimensional transmission coil to solve the low power transmission efficiency from the location of transmit coil and receiving coil is being developed. This paper, an important step in this study, presents the magnetically coupled model of the WPT system consist of the two-dimensional transmit coil and verifies by the simulation and experiment. The induced model in this paper can be used to design the WPT circuit and controller for the maximum transmission efficiency.

1. 서론

자기 공진형 무선전력전송시스템은 배터리를 에너지원으로 하는 모바일 기기, 전기 자동차 등의 분야에 적용되고 있으며, 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 무선전력전송 방식은 송수신코일 사이의 정렬, 거리, 대면각도 등에 따라 결합계수(Coupling coefficient)가 변화하여 전력전송 효율이 크게 나빠질 수 있다는 문제점을 가지고 있다.^[1] 다차원 송수신코일을 이용하는 방법은 임의의 위치에 있는 수신코일에 대해 최대 전력효율을 얻는 방식으로, 송수신코일 간의 임의의 결합계수에 대해 전력전송 효율을 높일 수 있는 무지향성(Omni-directional) 무선전력전송 기법이다. 그러나 무지향성 무선전력전송 기법은 송수신코일의 배치에 따른 결합계수의 변화와 전력전송 효율에 대한 실험적인 연구만 이루어지고 있다.

본 논문에서는 이러한 연구의 중요한 단계로 2차원으로 배치된 송수신코일과 수신코일 사이의 자기결합을 포함하는 자기회로 해석과 수학적 모델링을 제시하였다.

2. 2차원 송수신코일 모델링

2.1 절 송수신코일 모델링 및 해석

일반적으로 사용되는 1차원 평면 송수신코일에서 수신코일이 기울어진 경우 두 코일의 상호인덕턴스와 결합계수가 감소하여 전력전송 효율이 저하된다. 이러한 문제점은 다차원 송수신코일을 사용하여 해결할 수 있다. 그림 1은 본 논문에서 구성한 2차원 무선전력전송시스템의 송수신회로를 나타낸다. 서로 직교하는 x, y 축의 송수신코일을 이용하여 수신코일이 임의

의 각도 θ 에 위치하여 정렬되지 않더라도 합성자속을 제어하여 고효율로 전력전송을 할 수 있다.

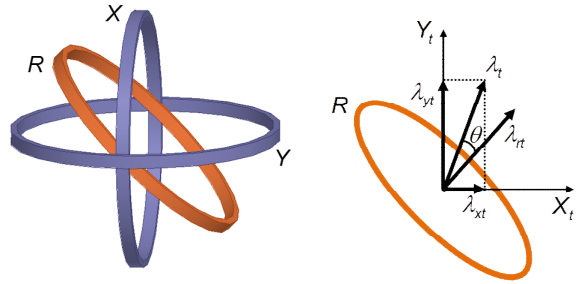


그림 1 송수신 코일의 배치와 자속 벡터
Fig. 1 Configuration and flux vector of transmit and Receiving coil

또한, 수신코일의 자속 방향을 λ_{rt} 로 둘 경우 송수신코일에서 발생하는 자속의 방향에 따라 전력전송효율이 달라진다. 다른 결합 효과를 무시할 경우, 송수신코일의 합성자속 λ_t 가 수신코일의 λ_{rt} 와 일치할 경우($\theta=0$) 가장 큰 전력전송효율을 얻을 수 있다.

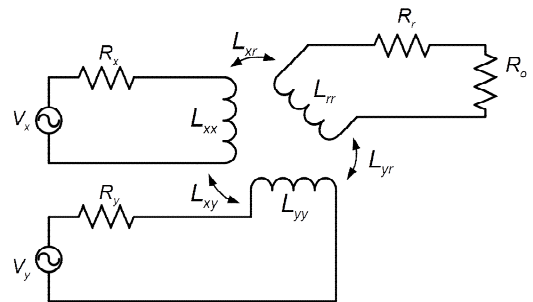


그림 2 2차원 송수신코일 회로 모델링을 위한 자기결합회로
Fig. 2 Magnetically coupled circuit for modeling

그림 2는 2차원 송수신코일의 회로 모델링을 위한 자기결합 회로를 나타낸다. 2개의 송수신코일이 서로 직교하여 L_{xy} 가 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정하면 자기결합회로는 식 (1)을 만족한다.

$$\begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{xx} & 0 & L_{xr\theta} \\ 0 & L_{yy} & L_{yr\theta} \\ L_{xr\theta} & L_{yr\theta} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_x \\ i_y \\ i_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 λ_x 와 λ_y 는 2개의 송수신코일에서 발생하는 자속을 나타내고 λ_r 은 수신코일에서 쇄교되는 자속을 나타낸다.

2.2 절 상호인덕턴스와 결합계수

본 논문에서 적용된 송수신 코일은 그림 1과 같다. 자기인덕턴스(Self inductance) L_{xx} , L_{yy} , L_{rr} 는 각각 $10.16\mu H$, $10.2\mu H$, $10.34\mu H$ 이며, 송수신코일의 위치에 따른 상호인덕턴스(Mutual inductance)와 결합계수(k)는 표 1과 같다.

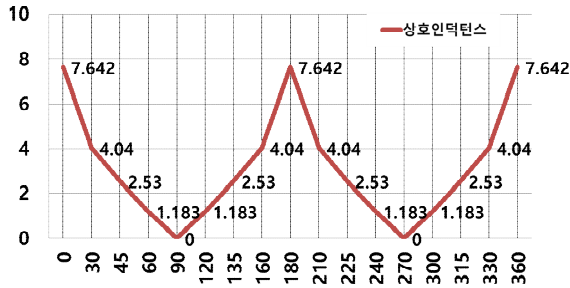


그림 3 수신코일의 각도에 따른 상호인덕턴스
Fig. 3 Mutual inductance according to angle of reception coil

표 1 상호인덕턴스와 결합계수
Table 1 Per unit values of the system parameters

	상호인덕턴스	결합계수 (k)
$\theta = 0^\circ$	$L_{xr} = 7.642\mu H$	$k_{xr} = 0.752$
	$L_{yr} = 0\mu H$	$k_{yr} = 0$
$\theta = 30^\circ$	$L_{xr} = 4.04\mu H$	$k_{xr} = 0.396$
	$L_{yr} = 1.183\mu H$	$k_{yr} = 0.114$
$\theta = 45^\circ$	$L_{xr} = 2.53\mu H$	$k_{xr} = 0.245$
	$L_{yr} = 2.53\mu H$	$k_{yr} = 0.244$

3. 시뮬레이션 및 실험

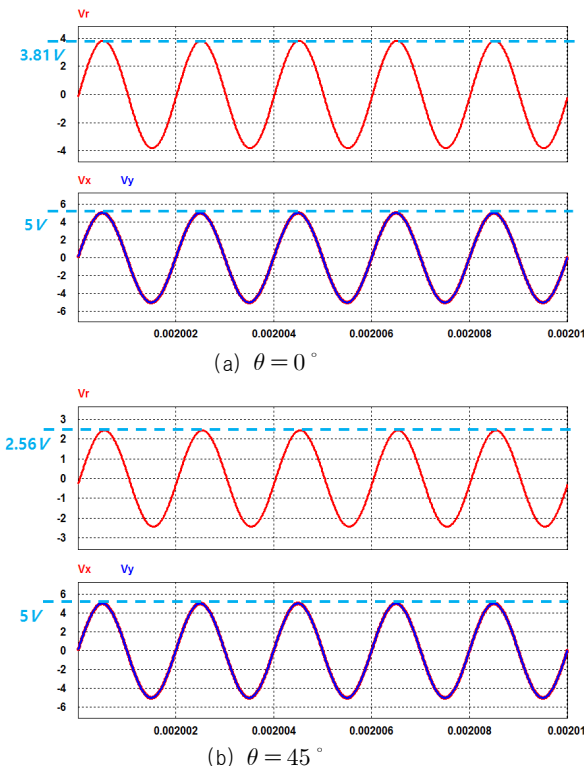


그림 4 상호인덕턴스를 이용한 PSIM 시뮬레이션 결과
Fig. 4 PSIM simulation results using mutual inductance

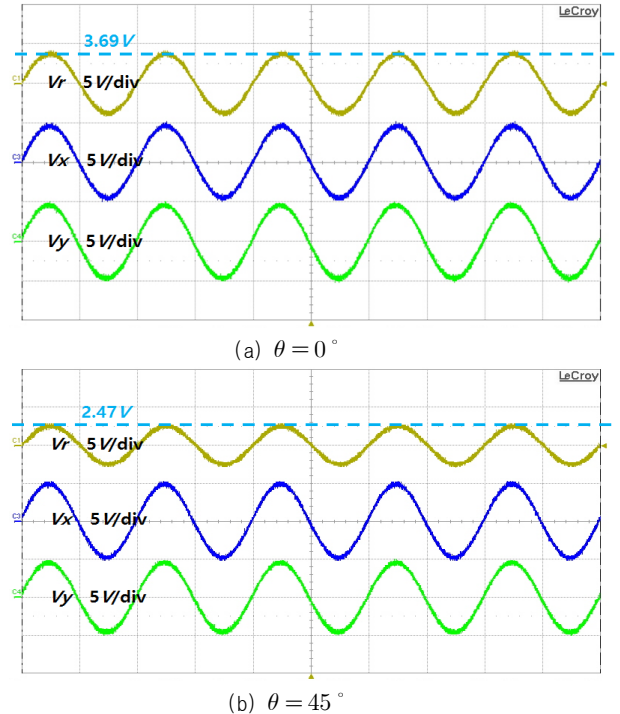


그림 5 2차원 송수신코일을 이용한 실험 결과
Fig. 5 Experimental results using two dimensional transmit coil

그림 4과 5는 각각 상호인덕턴스를 이용한 시뮬레이션 결과와 2차원 송수신코일을 이용한 실험결과이다. 각각 $\theta = 0^\circ$, $\theta = 45^\circ$ 에서의 결과를 비교하면 출력전압 v_r 의 침투값의 오차가 1%이내임을 알 수 있으며, 이는 표 1에서 얻은 상호인덕턴스와 결합계수가 타당함을 보인다.

4. 결론

본 논문에서는 임의의 각도 θ 에 위치한 수신코일에 대해 2차원 송수신코일을 이용하여 채교자속을 제어하기 위한 송수신코일의 자기결합회로의 모델링을 수행하였다. 또한 상호인덕턴스와 결합계수를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 실제 구성된 2차원 송수신코일의 실험 결과와 비교하여 타당함을 보였다. 이러한 결과는 무지향성 무선전력전송시스템을 분석하고 최적화하는데 유용하게 활용될 수 있다.

이 논문은 한국연구재단 이공학개인지초연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] A. E. Fitzgerald, Electric machinery: Six Edition, McGraw-Hill Publishing Company, Inc. pp. 470-482, 1952.
[2] Chungju Kim. Bomson Lee, "Analysis of Magnetically Coupled Wireless Power Transmission for Maximum Efficiency", Proceedings of the IEEE, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.