

# 공극이 큰 변압기의 변수 최적 모델링

유영도, 류명효\*, 김종현\*, 민병덕\*\*, 조남진\*\*\*, 김인동  
부경대학교, 한국전기연구원\*, (주)그린파워\*\*, 고려대학교\*\*\*

## Optimal modeling for a transformer with a large air-gap

Young-Do Yoo, Myung-Hyo Ryu\*, Jong-Hyun Kim\*, Byung-Duk Min\*\*, Nam-jin Jo\*\*\*,  
In-Dong Kim

Pukyong National Univ., Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)\*, Greenpower Co., Ltd.\*\*,  
Korea University\*\*\*

### ABSTRACT

일반적으로 사용되는 변압기에 비해 공진형 컨버터의 변압기와 유도급전 시스템에 사용되는 비접촉 변압기의 경우 공극이 아주 크다. 이런 경우, 일반적인 측정 방법으로는 정확한 변압기의 변수를 얻을 수 없다.

하지만 coupled 인덕터 측정 방법을 이용하여 공극이 큰 변압기의 변수를 측정하면 일반적인 변압기 측정 방법에 비해 정확한 변압기 변수를 얻을 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 공진탱크를 구현하여 PSpice 시뮬레이션과 임피던스 분석기(PSM1735)의 결과를 비교하여 2가지 측정 방법 중 coupled 인덕터 측정 방법이 정확하게 측정 가능함을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 LCD나 PDP TV의 슬림화가 계속됨에 따라 전원장치의 슬림화도 요구되고 있다. 이에 따라 높은 전력밀도와 고효율의 공진형 컨버터를 이용하고 있으며 반도체 산업분야에서는 비접촉 전원장치에 의한 전원공급을 하고 있다.

그림 1은 비접촉 전원장치에 사용되는 비접촉 변압기를 나타낸다. 비접촉 변압기는 1차측과 2차측이 항상 떨어져 있어 일반 변압기 보다 비교적 큰 공극을 갖는다. 또한 누설 인덕턴스가 자화인덕턴스 보다 크기 때문에 변압기의 결합계수  $k$ 가 아주 작으므로 에너지 전달이 어렵다.<sup>[1]</sup>

이와 같이 비접촉 전원장치에 사용되는 변압기는 큰 공극을 갖기 때문에 기존의 일반 변압기 변수를 측정하는 방법으로는 변압기 변수들을 정확히 측정하는데 한계가 있다.

그러므로 본 논문에서는 공극의 크기 변화에 대해 PSpice 시뮬레이션과 임피던스 분석기(PSM1735)를 통해 2가지 측정 방법 중 coupled 인덕터 측정 방법이 정확하게 측정 가능함을 검증하였다.

### 2. 비접촉 변압기 해석

#### 2.1 비접촉 변압기

그림 2의 (a)는  $L_p$ ,  $L_s$ 는 1차측과 2차측에서 측정된 자기 인덕턴스(Self inductance)이다. 변압기의 상호 인덕턴스(Mutual inductance)  $M$ 은 그림 2의 (b)와 (c)의 결선방식과 식 (1)로부터 구할 수 있다.

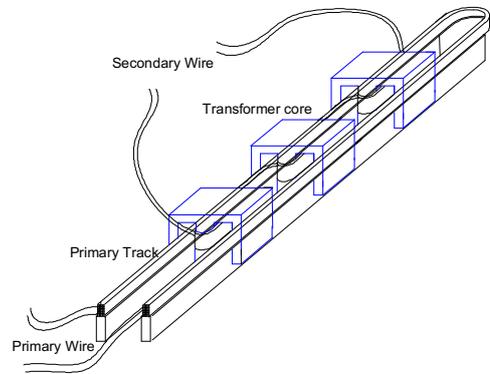


그림 1. 비접촉 변압기

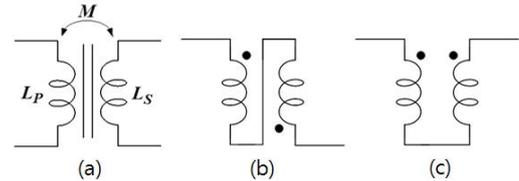


그림 2. (a) 1,2차 자기인덕턴스 (b) 직렬 연결( $L_{ser}$ ) (c) 병렬 연결( $L_{par}$ )

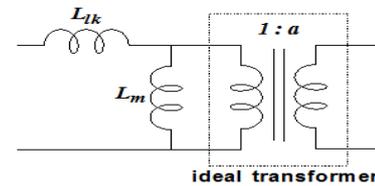


그림 3. 변압기 등가회로 모델

그림 3은 Coupled Inductor Theory에 의한 비접촉 변압기 등가회로를 나타낸다.

변압기의 결합계수( $k$ ), 누설 인덕턴스( $L_{lk}$ ), 자화 인덕턴스( $L_m$ )는 식(2)~(4)와 같다.

변압기의 권선비 ( $a$ )는 식(5)로부터 구할 수 있으며 결합계수가 감소할수록 실제 변압기의 권선비는 달라진다. 비접촉 변압기의 경우 그림 1과 같이 구조상 공극이 크므로 변압기의 누

설 인덕턴스( $L_{lk}$ )가 크고, 자화 인덕턴스( $L_m$ )가 작아서 변압기의 결합계수( $k$ )가 아주 작다.<sup>[2]</sup>

$$M = \frac{L_{ser} - L_{par}}{4} \quad (1)$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (2)$$

$$L_{lk} = L_p (1 - k^2) \quad (3)$$

$$L_m = k^2 L_p \quad (4)$$

$$a = \frac{L_s}{M} \quad (5)$$

## 2.2 비접촉 변압기 변수 측정

일반 변압기 측정방법과 coupled 인덕터 측정 방법의 비교를 위해 공극이 큰 변압기를 제작 하였다.

표 1은 일반 변압기 측정 방법에 의한 변압기 변수이다.

표 2는 coupled 인덕터 측정 방법에 의한 변압기 변수이다.

표 1 일반 변압기 측정 방법, 변압기 권선비 (9 : 9)

	공극(1.58 [mm])	공극(8.88 [mm])
$L_p$	38.7 [uH]	15.4 [uH]
$L_{lk}$	15.6 [uH]	11.91 [uH]
$L_m$	23.1 [uH]	3.5 [mH]
$n$	1	1

표 2 coupled 인덕터 측정 방법, 변압기 권선비 (9 : 9)

	공극(1.58 [mm])	공극(8.88 [mm])
$L_p$	38.7 [uH]	15.4 [uH]
$L_{lk}$	15.7 [uH]	12 [uH]
$L_m$	23 [uH]	3.4 [uH]
$L_{ser}$	136.9 [uH]	45.3 [uH]
$L_{par}$	17.6 [uH]	16.3 [uH]
$M$	29.82 u	7.25 u
$k$	0.772	0.469
$a(n)$	1.294	2.138

표 1의 일반 변압기 측정에 방법은 공극이 커짐에 따라 권선비가 1로 나타나지만 표 2의 coupled 인덕터 측정 방법은 공극이 커짐에 따라 결합계수( $k$ )와 권선비( $a$ )가 변하는 것을 확인하였다.

## 2.3 비접촉 변압기 시뮬레이션 및 측정

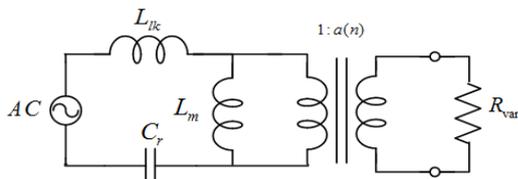


그림 4. LLC 공진탱크

그림 4는 각각의 변압기 변수들에 의한 입력( $AC:5[V]$ ), 부하( $R_{var}$ )의 따른 주파수 응답확인을 위한 LLC 공진탱크이다.

$L_{lk}$ 과  $L_m$ 은 누설 인덕턴스와 자화 인덕턴스를,  $C_r$ (4.7nF)은 직렬공진 커패시터를 나타낸다. 그리고 1 :  $a$ 는 coupled 인덕터 측정 방법의 변압기 권선비를 나타낸다.

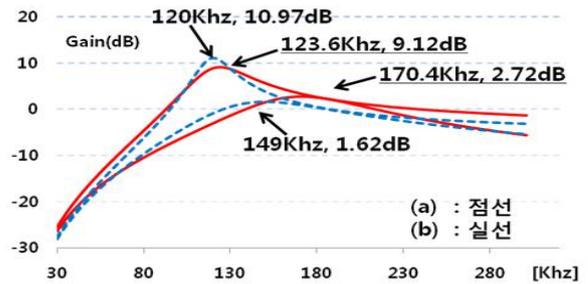


그림 5. PSpice 시뮬레이션 (공극 1.58 [mm])  
(a) 일반 변압기 측정 방법 (b) coupled 인덕터 측정 방법

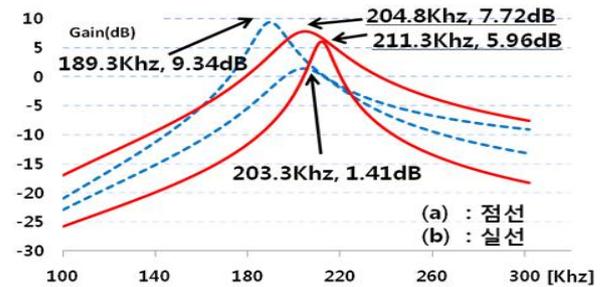
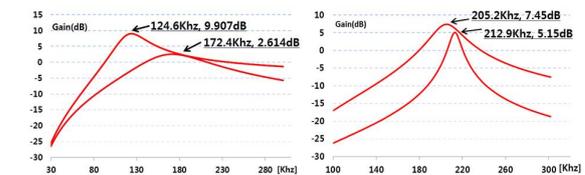


그림 6. PSpice 시뮬레이션 (공극 8.88 [mm])  
(a) 일반 변압기 측정 방법 (b) coupled 인덕터 측정 방법



(a) 공극 1.58 [mm] (b) 공극 8.88 [mm]  
그림 7. 임피던스 분석기(PSM1735) 측정 결과

그림 5와 그림 6은 공극에 따른 일반 변압기 측정 방법과 coupled 인덕터 측정 방법에 대한 시뮬레이션 결과이다.

그림 5, 6, 7을 통해 coupled 인덕터 측정 방법의 결과가 임피던스 분석기(PSM1735)로 측정한 결과와 비슷함을 확인 할 수 있었다.

## 3. 결론

본 논문에서는 일반 변압기 측정 방법과 coupled 인덕터 측정 방법에 대해 PSpice 시뮬레이션과 임피던스 분석기를 이용하여 주파수 응답곡선을 비교 및 분석하였다. 그 결과, 제시한 coupled 인덕터 측정 방법이 타당함을 검증하였다.

## 참고 문헌

- [1] 김주훈, 송환국, 김은수, 박성호, 김운호, "Half-Bridge 직렬 공진컨버터 적용 비접촉 충전시스템", 전력전자 학회 논문지, Vol. 14, No3, pp. 177-260, 2009. 6.
- [2] 류명호, 차현녕, 백주원, 유동욱, "비접촉 변압기의 모델링에 관한 연구", 전력전자학회 학술대회 논문집, pp. 511-513, 2005. .7.