

# 10kW급 LLC 공진형 컨버터 개발

박병우\*, 허민호\*\*, 이상혁\*, 임상길\*, 박성준\*  
전남대학교\*, 삼성전기\*\*

## 10kW LLC resonant converter development

Byoung Woo Park\*, Min Ho Heo\*\*, Sang Hyeok Lee\*, Sang Kil Lim\*, Sung Jun Park\*  
Chonnam National Univ\*, SAMSUNG Electro-Mechanics\*\*

### ABSTRACT

최근 소형화 및 고효율화를 목적으로 한 전력변환기 개발이 활발히 이루어지고 있고 이에 별도의 공진을 위한 리액터를 추가할 필요 없이 효율 및 고정 출력전압을 이룰 수 있는 LLC 공진형 컨버터에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 LLC 공진형 타입의 DC/DC 컨버터를 채택하여, 자기회로 분할 방식의 변압기 구조를 통해 출력측에서의 균등한 부하분담이 가능한 10kW급 자기회로 분할구조를 갖는 LLC 공진형 DC/DC 컨버터를 제안하였고, 실험을 통해 타당성을 입증하였다.

### 1. 서 론

최근 시장에서는 소형화, 고효율, 고밀도의 SMPS가 요구됨에 따라 높은 스위칭 주파수를 가지는 컨버터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 높은 스위칭 주파수를 가지며 고효율, 고밀도 전원으로 사용될 수 있는 다양한 컨버터 중에서 손실을 최소화 하기 위한 공진형 컨버터가 각광받고 있으며 그 중 LLC 공진컨버터에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이는 스위칭 주파수 제어를 통한 출력전압을 일정하게 제어할 수 있으며 또한, 출력 인덕터가 필요 없이 리액티브 소자로서 변압기 1개만을 가지므로 구조가 간단하고 입력 전압과 출력 부하의 변동에 따른 주파수 변동이 상대적으로 작으며, 넓은 부하 조건에 대하여 1, 2차측 소프트 스위칭(ZVS, ZCS) 동작 특성을 가져 시스템 효율이 우수한 장점을 가지고 있기 때문이다.<sup>[1][2]</sup>

기존의 변압기 구조는 1차측 코어에 각각 독립적으로 권선을 감아 직렬로 구성하지만 본 논문에서 제안하는 권선방식은 3개의 변압기에 대해 1차측 권선을 하나의 권선으로 와인딩 함으로써 2차측에서의 균등한 부하분담이 가능 하도록 하였다. 이로 인해 기존의 방식보다 더 높은 효율을 기대 할수 있었으며, 이를 실험을 통해 검증함으로써 높은 효율을 갖는 것을 확인 하였다.

## 2. LLC 공진형 컨버터 제작

### 2.1 기존의 LLC 공진형 컨버터

그림 1은 LLC 공진형 컨버터의 기본 회로도를 나타낸다. 이는 LLC 공진에 의해 소프트 스위칭이 가능한 형태로 LLC공진

형 컨버터는 공진을 위한 리액티브 성분을 변압기의 누설리액턴스와 자화리액턴스를 이용하기 때문에 공진을 위한 별도의 리액터가 필요없는 구조이며 공진주파수에 대해 스위칭 주파수를 조절해 줌으로써 원하는 입출력 이득  $Gain(V_{out}/V_{in})$ 을 얻을 수 있어서 최근 서버용 전원장치 또는 LCD전원장치 등과 같은 일정한 출력전압을 필요로 하는 곳에서 폭넓게 사용되고 있다.<sup>[3]</sup>

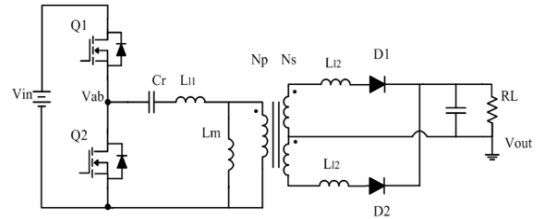


그림 1 LLC 공진형 컨버터  
Fig. 1 The circuit of LLC resonant converter

변압기는 권선비가 1:1일 때 가장 높은 효율을 나타내게 되는데, 본 논문과 같이 1차측 전압이 2차측 전압보다 큰 강압형 구조의 컨버터 방식에서는 이를 위해 여러 개의 변압기를 직렬로 연결하여 권선비를 최대한 1:1에 가깝게 만들게 된다. 하지만 이러한 구조는 각각의 변압기의 권선의 임피던스가 오차가 발생할 경우 전류가 한쪽으로 치우치는 현상이 발생하여 균일한 부하 분담을 이룰수 없게 된다.

### 2.2 제안하는 변압기 권선법 및 스택제작

기존의 직렬 접속된 변압기의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 변압기 3개를 이용 하되 3개의 1차측 코어를 1개의 권선으로 와인딩하여 1차측의 전체 자속은 하나로 할 수 있고, 2차측은 3개의 코어를 각각 독립적으로 구성한 자기회로 분할 방식의 변압기 구조를 제안하였다. 그림 2는 제안하는 자기회로 분할 구조의 변압기와 실제 권선된 변압기 이다. 그림2 에서 알 수 있듯이 3개의 변압기 1차측을 하나의 권선으로 와인딩 함으로써 1차측의 자기구조를 하나로 하였으며, 2차측은 각각 독립적으로 권선함으로써 1차측의 3개의 코어에는 동일한 전류에 의해 균일한 자속이 분포되고 2차측은 각각의 변압기가 서로의 간섭없이 균일한 1차측에 지배를 받아 균등한 부하 분담할 수 있는 자기회로 분할 구조의 변압기 구조를 갖는다.

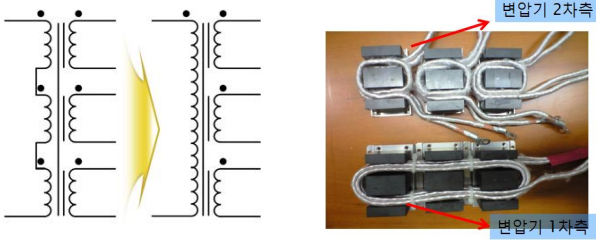


그림 2 제안하는 변압기 권선법  
Fig. 2 Proposed winding methods of transformer

$$V = \frac{N \times d\phi}{dt} = N \frac{dB \times A}{dt} \quad (1)$$

$$\therefore N_p = \frac{V dt}{dB \times A} = \frac{V_{in} D_{max} T_s}{\Delta B \times A_e} \approx 4 \text{ Turn}$$

그림 3은 상기의 권선법을 바탕으로 제작한 10kW급 LLC 공진형 컨버터 스택으로 1차측 DC링크단과 IGBT, 2차측 다이오드를 이용한 중간탭 정류방식의 3병렬 구조로 되어있다.

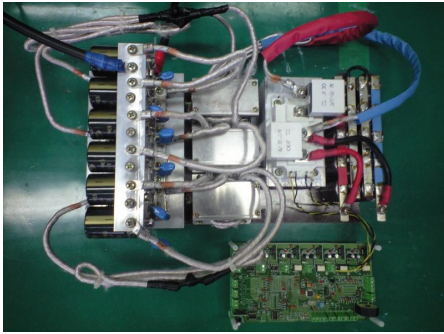


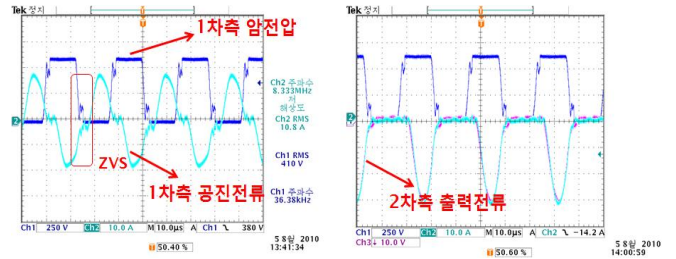
그림 3 10kW급 LLC 공진형 컨버터  
Fig. 2 Photographs of 10kW LLC resonant converter

### 3. 실험 결과

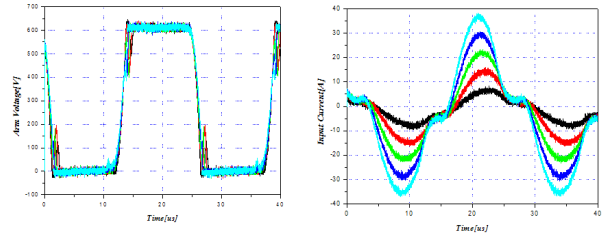
표 1은 제작된 LLC 공진형 컨버터의 파라미터를 보여 준다. 1차측 입력전압은 DC Link 600V로서 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 1차측 스위치에서 LLC 공진형 컨버터의 특징인 ZVS 동작으로 소프트 스위칭 되는 것을 확인하였고, 변압기 권선 법에 따라 2차측 중간탭 정류기를 통한 출력단 전류가 동일하여, 2차측 전류의 분포 균등성을 통한 출력측 부하에 대해 균일한 분담이 가능한 것으로 확인되었다. 그림 4(b)는 부하를 20%에서 100%까지 변화시켰을 때의 스위치 압전압 및 공진전류의 파형으로 제작된 LLC공진형 컨버터가 넓은 부하 영역에서 소프트 스위칭 되어 손실을 최소화 함으로써 실험 결과 최대 효율 95.6%의 높은 효율을 이룰 수 있었다.

표 1 실험 파라미터값  
Table 1 Parameter values of experiment

입력전압	600[V]	$L_{11}$	40.24e 6
정격출력	10[kW]	$L_{12}$	2.055e 6
출력전압	50[V]	$L_m$	800.8e 6
		$C_r$	0.47e 6



(a) 1차측 ZVS 파형 및 2차측 출력전류



(b) 20~100% 부하 변동을 통한 스위치 압전압 및 공진전류

그림 4 실험 결과 파형

Fig. 4 Waveforms of experiment result

### 4. 결론

본 논문에서는 직렬접속 변압기권선의 임피던스 오차에 의한 문제점을 해결하기 위해 자기회로 분할 구조의 변압기의 권선법을 적용하여 10kW급 LLC공진용 변압기를 설계하였다. 기존의 직렬접속 변압기는 1차측 코어에 각각 독립적으로 권선을 감아 직렬로 구성하지만 본 논문에서는 3개의 변압기에 대해 1차측 권선을 하나의 권선으로 감음으로써 1차측 3개의 코어는 동일한 전류 및 자기구조를 갖고 2차측의 각각의 코어는 서로 독립적으로 동일한 1차측 특성에 의해 균일한 전류 분포를 보여 출력측에 균등한 부하분담을 할 수 있다. 이로 인해 기존의 방식보다 더 높은 효율을 기대 할수 있었으며, 이를 실험을 통해 검증함으로써 최대 95.6%의 효율을 갖는 10kW급 LLC 공진형 컨버터를 시험 제작하였다.

이 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] 손호인, 김창선, 김대년, "슬림형 LCD TV의 LED 백라이트 구동용 평판형 트랜스포머를 적용한 LLC 공진컨버터에 관한 연구", 전력전자학회 논문지, 제 15권 제 4호, pp. 319 326, 2010. 8
- [2] C. Adragna, S. De Simone and C. Spini,, "A Design Methodology for LLC Resonant Converters Based on Inspection of Resonant Tank Currents", Proceedings of the IEEE APEC'08, Vol. 1, pp. 1361 1367, 2008.
- [3] B. Yang, F.C. Lee, A.J. Zhang, G. Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion," in IEEE APEC 2002, pp. 1108 1112