

# 하나의 코어로 집적화된 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기 적용 AC-DC 컨버터

노영재\*, 서함\*, 권주일\*, 김은수\*, 김동희\*\*, 허동영\*\*  
전주대학교\*, LG이노텍(주)\*\*

## AC-DC Converter Using The PFC Inductor and LLC Resonant Transformer with An Integrated Magnetic Core

Y.J Noh\*, Han Xu\*, J.I Kwon\*, E.S Kim\*, D.H Kim\*\*, D.Y Huh\*\*  
JeonJu University\*, LG Innotek\*\*

### 1. 서론

최근 아날로그 방송에서 디지털 방송으로의 전환 결정에 따라 향후 디지털 TV의 수요가 급증할 것으로 예상되는 가운데 가전업체들은 저렴한 디지털 TV를 생산해 시장선점에 나서고 있으며 이러한 추세에 따라 PSU(Power Supply Unit) 모듈의 저 가격화 및 경량화에 대한 연구가 계속되고 있다.

본 논문에서는 42인치 TV 전원회로에 있어서 회로의 집적화와 단가저감을 위해 입력 역률 개선을 위한 PFC 컨버터에 적용된 인덕터와 LLC 공진 컨버터에 적용된 변압기를 하나의 코어로 통합한 2in1 변압기 적용 AC/DC 컨버터에 적용 검토 내용을 서술하였으며 실험을 통해 적용 가능성을 확인하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 제안된 변압기 장점

기존 대부분 AC/DC 어댑터 전원장치(PSU : Power Supply Unit)의 경우 입력 역률개선을 위해 PFC 컨버터와 절연 및 효율 개선을 위해 LLC 공진컨버터를 사용한다. 하지만 그림 1과 같이 PFC 컨버터와 LLC 공진컨버터에 각각의 인덕터와 변압기를 사용할 경우 단가 저감이나 전원장치(PSU)의 경량화와 집적화에 한계성을 갖게 된다.<sup>[1][2]</sup>

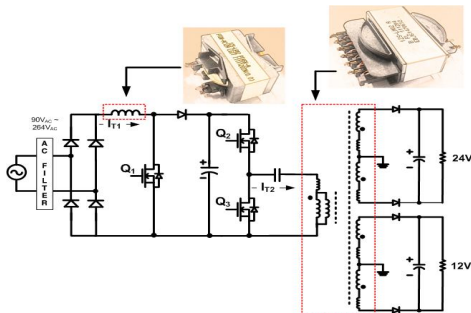


그림 1. 기존 PFC와 LLC 공진컨버터를 이용한 회로

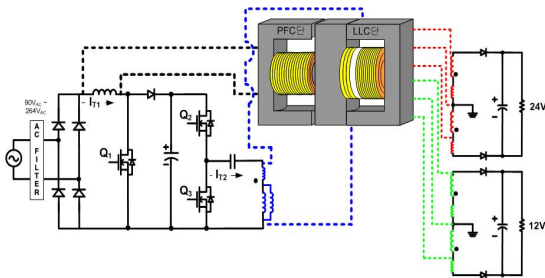


그림 2. 제안된 변압기를 이용한 회로

본 논문에서는 기존 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 사용하는 방식과 달리 그림 2와 같이 하나의 코아에 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 적용함으로써 사용하는 코아의 개수를 줄일 수 있어 집적화에 용이하고 단가를 저감 할 수 있는 장점이 있으며 기존 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 적용하였을 때와 동등한 수준의 성능을 가진다.

#### 2.2 제안된 변압기의 형상

그림 3과 같이 제안된 변압기는 보빈의 한쪽에는 PFC 인덕터 권선이 감겨 있고 한쪽에는 LLC 1차측 권선과 2차측 권선이 요구된 절연 간격으로 감겨 있다. PFC 인덕터단과 LLC 1차측 권선에서 생성된 자속은 그림 4와 같이 서로 상쇄되는 방향으로 형성될 수도 있지만 서로 중첩되는 방향으로 형성되기 때문에 가운데 I자형 코아를 1개만 사용할 경우 코아의 손실이 증가하게 된다.

$$P_{core} = A \cdot B^{\alpha} \cdot f^{\beta} \cdot V \quad (1)$$

(A : 코아손실 상수, B : 자속밀도, f : 주파수, V : 코아의 부피,  $\alpha$  : 자속밀도 계수,  $\beta$  : 주파수 계수)

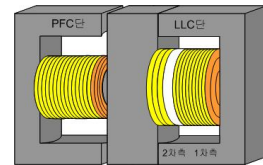
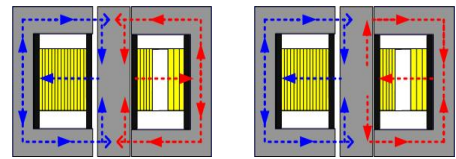


그림 3. 제안된 변압기 형상



(a) 자속이 상쇄되는 방향 (b) 자속이 중첩되는 방향  
그림 4. 자속의 이동방향

코아의 손실은 식(1)에 나타난 것과 같이 자속밀도와 코아의 부피와 비례하기 때문에 가운데 중간자로인 I자형 코아의 단면적을 2배의 면적을 가져야 한다.

PFC 단에서 형성된 자속이 LLC 단에서 형성된 자속과 중첩되는 방향으로 흐를 경우 PFC단의 공극(Gap)은 1.29mm로 LLC단의 적용된 0.11mm보다 많은 공극이 적용되었기 때문에 PFC단의 자속이 LLC 단에 영향을 끼치게 된다. 이러한 영향이 LLC 1차측에 집중될 경우 이로 인해 출력리플에 영향을 주는 것은 물론 전체적인 시스템의 불안정을 초래하게 된다. 그러므로 LLC 1차측 권선은 PFC단 권선과 떨어뜨려 바깥쪽에 권선하여 상호 커플링(k)에 따른 영향을 최소화 시켰다

### 2.3 변압기 권선위치에 따른 결합계수 변화

PFC 인덕터단과 LLC 공진 변압기단 상호간의 결합계수를 통해 상호간섭 정도를 알 수가 있다. 결합계수(coupling coefficient, k)는 식 (1)~(4)와 같은 순서로 나타낼 수 있으며

$$L^+ = L_1 + L_2 + 2M \quad (1)$$

$$L^- = L_1 + L_2 - 2M \quad (2)$$

$$M = \frac{L^+ - L^-}{4} \quad (3)$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_B \cdot L_P}} \quad (4)$$

표 1은 Maxwell3D 시뮬레이터와 임피던스분석기(PSMI735)를 사용하여 결합계수(k)를 추출한 값이다. 두 가지 방법을 통해 결합계수(k)를 추출하여 LLC단의 1차측과 2차측의 권선 위치에 따른 상호 커플링관계를 알아보고자 했으며 표 1과 표 2를 보면 알 수 있듯이 그림 5(a)와 같이 LLC단의 1차측 권선을 PFC와 가깝게 권선시 PFC단과 LLC 1차측 권선간의 커플링이 그림 5(b)와 같이 LLC단의 1차측 권선을 PFC와 떨어뜨려 권선을 하였을 때와 비교하여 결합계수(k) 값이 높은 것을 알 수 있다. 그러므로 PFC단에서 형성된 자속이 LLC단 1차측에서 형성된 자속에 영향을 최소화 하기위해 그림 5(b)와 같이 권선을 함으로써 상호 커플링 영향이 최소화 되어 공진전류가 발진을 하지 않고 안정된 동작특성을 갖게 됨을 알 수 있다.

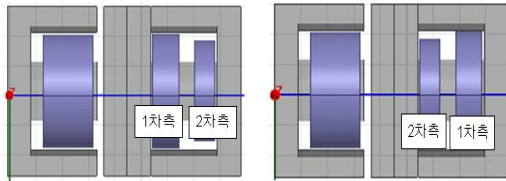


그림 5. 권선방법

표. 1 결합계수(k) 추출

측정방법	Maxwell 3D 시뮬레이션		Impedance analyzer	
	권선방법A	권선방법B	권선방법A	권선방법B
M(상호인덕턴스)	16.64uH	14.828uH	18.6uH	17.525uH
$L_B$ (PFC인덕터단)	290.27uH	290.53uH	263.8uH	265.9uH
$L_P$ (LLC 1차측)	539.92uH	585.95uH	522.8uH	523.3uH
k (결합계수)	0.042	0.036	0.05	0.047

### 3. 실험결과

본 논문에서 하나의 코아에 PFC인덕터와 LLC공진변압기를 하나로 통합한 2in1 변압기를 제작하여 120W전원장치에 적용 실험한 결과를 나타냈다. 표 2는 측정된 변압기 파라미터이다.

표. 2 측정된 변압기 파라미터

LLC 공진 컨버터	1차측누설인덕턴스	$L_{l11}$	15.66uH	40.49uH
	1차측으로 유도된 2차측누설인덕턴스	$N^2 L_{l21}$	48.21uH	52.44uH
	자화인덕턴스	$L_{m1}$	494.2uH	473.0uH
	등가누설인덕턴스	$L_{eq1}$	59.59uH	87.70uH
		$N(N_1/N_2)$	8.5(34/4)	17(34/2)
PFC	인덕턴스	L	265.9uH	
	턴수	N	53T	
적용코아			EER28L-Z	

그림 5는 입력전압 90V<sub>AC</sub>, 출력용량 60W, 120W 조건에서 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기를 사용한 실험파형이며 그림 6은 제안된 통합된 2in1 변압기를 사용하여 실험한 파형이다. 실험결과 제안된 통합 2in1 변압기 사용시 PFC단과 LLC 단과의 상호 간섭 없는 안정된 동작특성을 볼 수 있다.

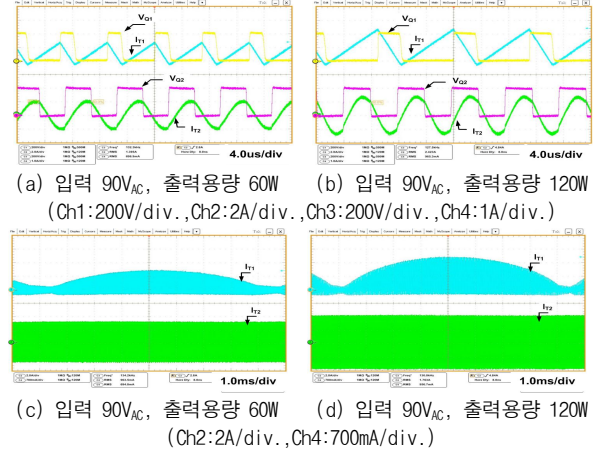


그림 5. 기존 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기 적용시 주요파형

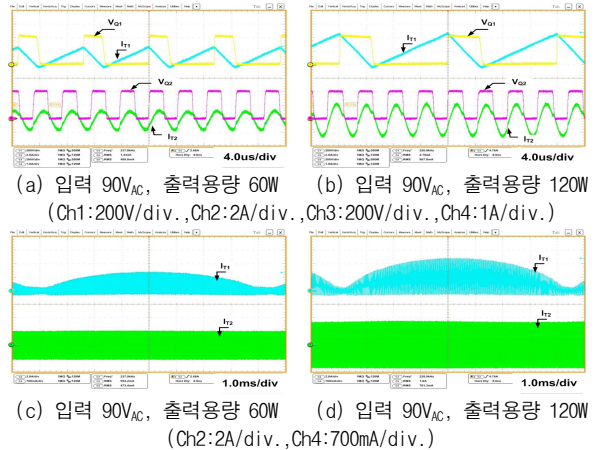


그림 6. 하나의 코아로 통합된 변압기 적용시 주요파형

### 4. 결론

본 논문에서는 PFC 컨버터와 LLC 공진컨버터에 적용된 각각의 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기를 하나의 코아로 통합된 2in1 변압기를 제작 120W 전원장치에 실험하여 적용 가능성을 입증하였다. 적용된 통합 2in1 변압기는 각각의 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기를 하나의 코아로 집적화함으로써 PCB의 경량화 및 단가(Cost)측면에서 저감효과를 가졌다.

이 논문은 LG이노텍(주)와 전주대 산학협력 연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

### 참고문헌

- [1] Bo Yang, yuancheng Ren, Fred C. Lee, "Integrated magnetic for LLC resonant converter" IEEE APEC 2002. Seventeenth Annual IEEE, vol.1, pp. 345 351, 2002
- [2] Siyang Zhao, Junming Zhang, Yang Shi, "A Low Cost Low Power Flyback Converter with a Simple Transformer" IPEDMC 2012 7th International, vol.2, pp. 1336 1342, 2012