

# 하나로 통합된 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기

강철하\*, 노영재\*, 권주일\*, 한동필\*, 김은수\*†, 김동희\*\*, 이영수\*\*  
전주대학교\*, LG이노텍(주)\*\*

## PFC Inductor and LLC Resonant Transformer using An Integrated Magnetic Core

C.H Kang\*, Y.J Noh\*, J.I Kwon\*, D.P Han\*, E.S Kim\*†, D.H Kim\*\*, Y.S Lee\*\*  
JeonJu University\*, LG Innotek\*\*

### 1. 서 론

최근 LED 조명의 수요가 증가함에 따라 LED 조명시장이 확대되고 있다. 하지만 가장 큰 단점으로 가격이 부각되고 있으며 이를 해결하기 위한 연구가 계속되고 있다. 또한 향후 LED 광원의 고유 목적과 더불어 통신수단으로서의 목적 등 다양한 용도의 LED 조명 개발을 위해 다양한 기능을 추가적으로 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있다.<sup>[1]</sup> 이러한 추세에 따라서 더 작은 무게와 부피로 비용 및 경량화 측면에서 효과적인 결과를 얻어낼 수 있는 통합된 Magnetic Component Design 연구가 검토되고 있다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서는 150W급 LLP(LED Lighting Power)보드에 있어서 회로의 경량화와 단가저감을 위해 그림 1에 나타난 바와 같이 AC/DC 컨버터의 PFC 인덕터와 LLC 공진컨버터의 변압기를 하나의 변압기로 통합하여 적용한 AC/DC 컨버터의 검토내용을 서술하였으며 실험을 통해 제품적용 가능성을 확인하였다.

### 2. 제안된 EP 코아 적용 통합변압기

기존 개별 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기를 사용 할 경우 사용되는 코아의 개수는 인덕터 2개, 변압기 2개로써 총 4개이며 보빈의 개수는 인덕터와 변압기 각각 사용됨으로 총 2개의 부품이 사용된다. 하지만 그림 2와 같이 제안된 통합변압기는 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기가 하나로 통합된 형상으로써 2개의 코아와 하나의 보빈만 사용됨으로써 코아와 보빈의 개수를 저감할 수 있고, 집적화 및 제품단가를 저감할 수 있다. 또한 PFC단과 LLC단 코아 중간자로의 공극을  $A_{e1}$ 과  $A_{e2}$  개별적으로 적용하여 하나의 코아 관리만을 통해 통합변압기를 제작할 수 있다.<sup>[3]</sup>

CRM(Critical Conduction Mode) PFC AC/DC 컨버터와 LLC 공진컨버터는 비동기 되어 스위칭 동작하고 있다. PFC 컨버터의 경우 CRM 동작특성을 갖기 때문에 입력전압과 부하의 변화에 따라서 넓은 동작 스위칭주파수 범위를 갖는다. LLC 공진컨버터 또한 부하의 변화에 따라 동작 스위칭주파수가 가변되는 제어동작 특성을 갖고 있으며 그림 3(a)와 같이 PFC 인덕터의 전류와는 달리 LLC 공진전류는 한 주기 동안 교번으로 흐르며 동작된다. 이때 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기의 동작주파수가 같아지거나 정수배가 되는 경우 그림 3(b)와 그림 3(c)와 같이 각각의 자속이 상쇄되는 경우와 중첩되는 경우가 발생하게 된다. 따라서 그림 3(c)와 같이 각각의 PFC 단과 LLC단에서 생성된 자속이 일부 중첩되어 상호간에 영향을 끼치게 되고, 이와 더불어 PFC 인덕터단과 LLC 공진변압기단의 상호 결합계수가 커질수록 출력리플 및 공진전류에 발진 등 전체적인 시스템 불안정 동작특성을 갖게 된다.

본 논문에서의 통합변압기는 PFC단과 LLC단을 평행으로 배치하고 각각의 자속이 상호 커플링 되지 않고 여러 경로를 통해 Bypass 될 수 있도록 자속경로를 제공할 수 있는 코아 형상을 제안하여 제작함으로써 PFC단에서 생성된 자속이 LLC단에 끼치는

상호자속커플링(Mutual Magnetic Coupling) 영향을 최소화하도록 하여 통합변압기를 제안 적용하였다.

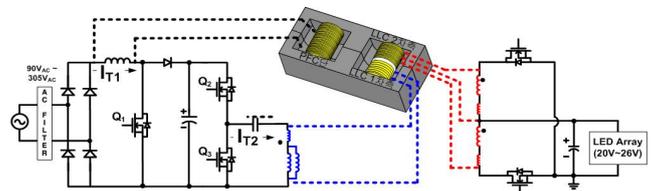


그림 1. 제안된 통합변압기 적용 LLP PSU (Power Supply Unit)

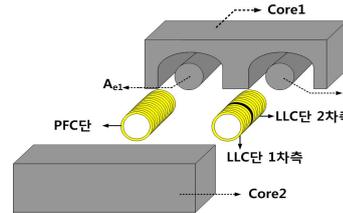
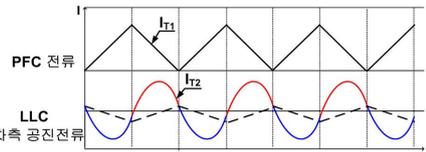
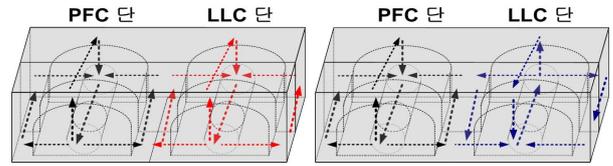


그림 2. 제안된 EP 코아 적용 통합변압기<sup>[3]</sup>



(a) PFC 인덕터와 LLC 공진변압기의 동작주파수가 같아지는 경우



(b) 자속이 상쇄되는 경우

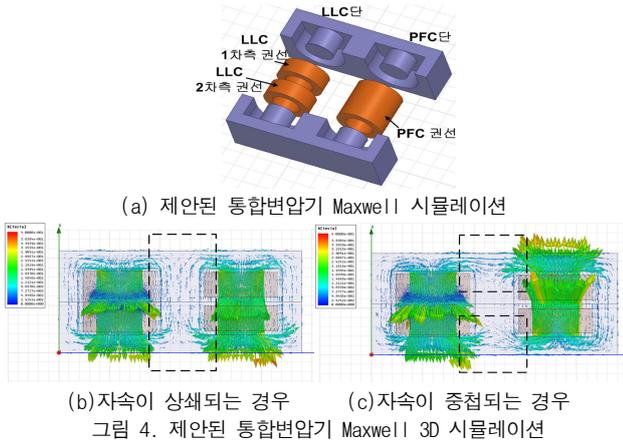
(c) 자속이 중첩되는 경우

그림 3. 자속의 이동방향

### 3. 제안된 통합변압기

제안 통합변압기의 적용가능성을 검토하기 위하여 Maxwell 3D 전자장해석 시뮬레이션 하였다. 이를 통해 PFC 인덕터단과 LLC 공진변압기단에서 생성된 자속의 크기와 이동방향을 확인할 수 있었다. 그림 4는 그림 3(a)에서 나타난 바와 같이 PFC 단 인덕터 전류가 왼쪽 방향으로 고정된 상태에서 LLC단 공진 전류방향을 교번하여 시뮬레이션을 실시한 결과이다. 그림 4(b)는 그림 3(b)와 같이 LLC단 자속이 PFC단 자속과 상쇄되는 방향으로 전류를 흘렸을 경우를 나타낸 결과이며 서로간의 자속이 상쇄되어 상호간에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(c)는 그림 3(c)와 같이 LLC단 자속이 PFC단 자속

과 중첩되는 방향으로 전류를 흘렸을 경우를 나타낸 결과이다.



또한 Maxwell 3D 시뮬레이션을 통해 PFC단 및 LLC단 간의 상호결합계수를 추출할 수 있었으며 설계 및 제작된 통합변압기의 상호결합계수를 표1에 나타냈다. 이를 통해 제안된 통합변압기의 낮은 상호결합계수를 확인함으로써 실험에 적용 가능성을 검증할 수 있었다.

표. 1 PFC단과 LLC단의 상호 결합계수(k)추출

|                  | 결합계수(k)   |
|------------------|-----------|
| Maxwell 3D 시뮬레이션 | 0.0013011 |
| 측정값              | 0.0014172 |

### 3. 실험결과

본 논문에서 150W 정격출력용량을 갖는 LLP Power 보드에 PFC 인덕터와 LLC공진변압기를 하나의 코어로 통합한 변압기를 제작, 적용하여 입력전압 90V<sub>AC</sub>~264V<sub>AC</sub>조건에서 최대 정격출력용량 150W에 대해 각각 실험 하였다. 표 2는 측정된 변압기 파라미터이다.

표. 2 측정된 변압기 파라미터

|            |           |              |           |
|------------|-----------|--------------|-----------|
| LLC 공진 컨버터 | 1차측자기인덕턴스 | $L_p$        | 530.1uH   |
|            | 2차측자기인덕턴스 | $L_s$        | 68.42uH   |
|            | 등가누설인덕턴스  | $L_{cq}$     | 8.167uH   |
|            |           | $N(N_1/N_2)$ | 8.5(34/4) |
| PFC        | 인덕턴스      | L            | 154uH     |
|            | 턴수        | N            | 47T       |
| 적용코어       |           |              | H5AEP20-Z |

그림 5는 입력전압 90V<sub>AC</sub>, 200V<sub>AC</sub> 출력용량 75W, 150W 조건에서 제안된 통합변압기를 사용하여 실험한 파형이다. 실험 결과 제안된 통합변압기 사용시 PFC단과 LLC단과의 상호 간섭 없는 안정된 동작특성을 볼 수 있다.

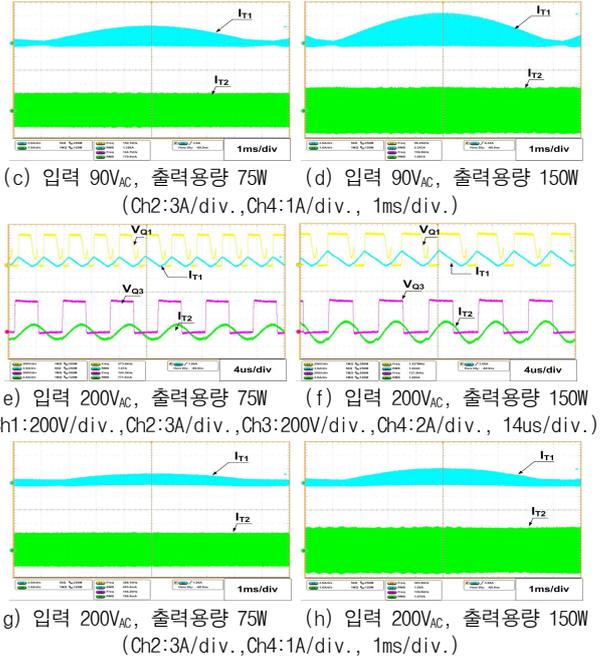
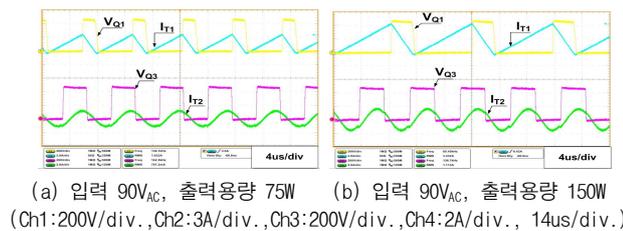


그림 5. 하나의 코어로 통합된 변압기 적용시 주요파형

### 4. 결론

본 논문에서는 통합변압기를 제안하여 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기를 통합 하였고, 이를 Maxwell 3D 시뮬레이션을 통해 자속의 이동방향과 결합계수를 추출하여 적용 가능성을 검토한 후 통합 변압기를 설계 및 제작하였다. 제작된 통합변압기를 150W LLP보드에 실험을 통해 적용 가능성을 입증하였다. 적용된 통합변압기는 각각의 PFC 인덕터와 LLC 공진 변압기를 하나의 코어로 집적화함으로써 기존 각각의 PFC인덕터와 LLC 공진변압기를 사용했을 때와 비교하여 더 작은 무게와 부피로 비용 및 경량화 측면에서 효과적인 결과를 가져다.

### 5. 응용형상

그림 2에 나타난 제안된 EP 코어 적용 통합변압기를 응용하여 그림 6과 같은 형상으로 다양하게 응용할 수 있으며, 이를 통해 더 큰 용량의 보드에 적용이 가능하다.

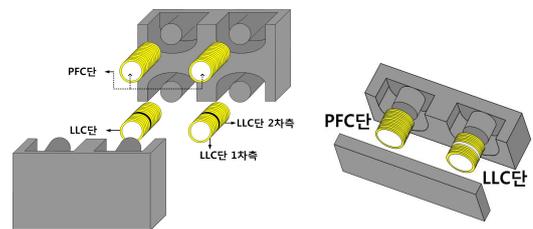


그림 6. 제안된 응용 통합변압기<sup>[3]</sup>

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

### 참고문헌

- [1] 임상규, 김대호, 장일순, 김유진, 강태규 "LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향" 전자통신동향분석, 제 25권 제4호, 2010. 08., pp 38-47.
- [2] 노영재, 권주일, 김은수, 원종섭, 김동희, "통합된 PFC 인덕터와 LLC 공진변압기 적용 PSU" 2013년 전력전자학술대회 논문집, pp.7-8, 2013
- [3] 김은수, "통합변압기", 특허출원 예정, 2013. 11.