

# 통합변압기 적용 넓은 출력전압을 갖는 LED 전원공급 장치

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

## A Wide Output Voltage Range LED Power Supply Using An Integrated Transformer

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

### 1. 서 론

LED는 기존 광원에 비해 친환경적이고 수명이 반영구적이며 에너지절감효과가 뛰어나다. 따라서 지하철과 대중교통, 가로등, 도로 및 교통시설, 대규모 공공수요처에 LED조명 사용 의무화를 진행하고 있을 정도로 큰 관심이 집중되고 있다.<sup>[1] [3]</sup> 이 중에서도 LED조명수요가 가장 많은 Outdoor용 LED는 제품마다 전압과 용량 등 사양이 바뀌게 되는 데 최근 시장에서는 어느 제품군에 동작시키더라도 하나의 LED 어댑터로 다양한 제품군을 동작시킬 수 있는 넓은 출력전압 범위를 갖는 LED 전원공급 장치가 요구되고 있다. 따라서 본 논문에서는 넓은 입력전압범위(90Vac~305Vac) 및 넓은 출력전압범위(120V<sub>DC</sub>~280V<sub>DC</sub>)를 갖는 LED PSU(Power Supply Unit)에 PFC 인덕터와 LLC 공진컨버터를 하나의 코어로 통합한 2 in 1 변압기를 적용하였고 넓은 출력전압 범위에 대응할 수 있는 LLC 공진컨버터 설계에 대해 기술하였으며 Outdoor용 150W급 LLP(LED Lighting Power)보드에 적용 실험하였다.

### 2. 통합된 2-in-1 변압기 형상

그림 1의 제안된 2 in 1 통합변압기는 Outdoor용 150W LED Power 보드에 적용하기 위한 코어 형상이며 E자형 코어 2개와 I자형 코어 1개로 구성되어 PFC 인덕터와 LLC 공진컨버터를 하나로 통합한 것이 특징이다.<sup>[4]</sup>

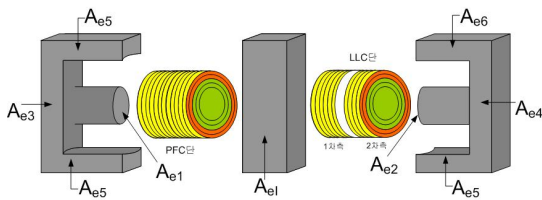


그림 1. 제안된 통합 2-in-1 변압기

또한 제안된 2 in 1 통합변압기 중간자로의 I자형 코어는 PFC 인덕터와 LLC공진변압기에서 생성된 자속이 통과하는 부분으로써 면적을 외각자로의 2배로 하여 자속밀도를 낮추어 코어손실 증가를 방지하고자 하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 PFC단의 코어 중간자로면적(A<sub>e1</sub>)을 둘러싸여 권선되며 LLC단은 변압기단의 코어 중간자로(A<sub>e2</sub>)에 권선 된다.<sup>[4]</sup> 그림 2는 넓은 출력전압을 갖는 LED 전원공급 장치에 통합변압기가 적용된 회로이다. 1차측은 높은 전력 밀도 및 부품단가를 저감시키기 위해 역률 보정을 위한 PFC 컨버터와 하프 브릿지 LLC 공진컨버터로 구성되어있고, 2차측은 브릿지 다이오드 정류회로와 PFC단의 자속에 의한 상호 간

섭으로부터 LLC단 코어에 DC offset을 방지하기 위해 2차측 권선에 직렬로 DC Blocking 커패시터(C<sub>B</sub>)를 추가한 회로로 구성되어 있다.

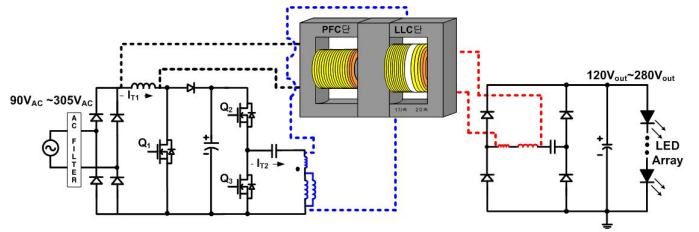


그림 2. 제안된 2-in-1 통합 변압기 적용 LLP PSU 주회로도

그림 3은 2 in 1 통합 변압기의 배선 배치도이다. 그림 3(b)의 적색 점선은 CRM(Critical Conduction Mode)PFC컨버터의 ZCD(Zero Current Detecting)을 위한 보조 인덕터권선을 나타내고 녹색 점선은 PFC인덕터 권선, 파란색 점선은 LLC 1차측 권선, 노란색 점선은 LLC 2차측 권선을 나타낸다. 그림 3(b)와 같이 PFC 권선과 LLC 1차측 권선이 같은 방향으로 되어 있어 PCB Layout 설계가 용이하며 컨버터의 1차측과 2차측의 절연간격도 유지할 수 있다.

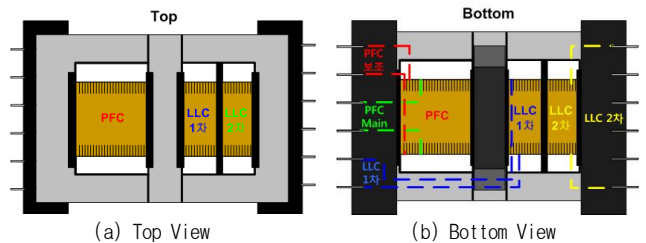


그림 3. 2-in-1 통합 변압기의 배선 배치도

### 3. 넓은 출력전압을 갖는 2-in-1 통합변압기 설계

통합변압기 적용 넓은 출력전압(120V<sub>DC</sub>~280V<sub>DC</sub>)을 갖는 LED 전원공급 장치의 LLC 공진컨버터는 매우 넓은 주파수 범위에서 동작하기 때문에 설계가 매우 까다롭다. 만약 높은 출력전압에 맞추어 LLC 공진컨버터를 설계할 경우 그림 4와 같이 LLC 공진컨버터의 공진주파수(f<sub>r</sub>)부근에서 기본 DC 이득을 가지고 있고 스위칭 동작주파수가 높아질수록 이득변화가 크게 없기 때문에 낮은 출력전압범위 또는 가장 낮은 출력전압(120V<sub>DC</sub>)에서 Burst Mode로 동작하게 되는데 이는 출력 리플로 나타나며 LED의 깜박거리는 플리커(Flicker)현상이 발생할 수 있다. 반대로 Burst Mode를

피하기 위해 낮은 출력전압에서 LLC 공진컨버터를 설계할 경우 높은 출력전압에서 큰 자화전류로 인해 코어가 포화되거나 도통손실로 이어질 수 있으며 자속밀도변화량(Magnetic flux swing)의 증가로 코어손실이 일어나 열이 발생할 수 있다.

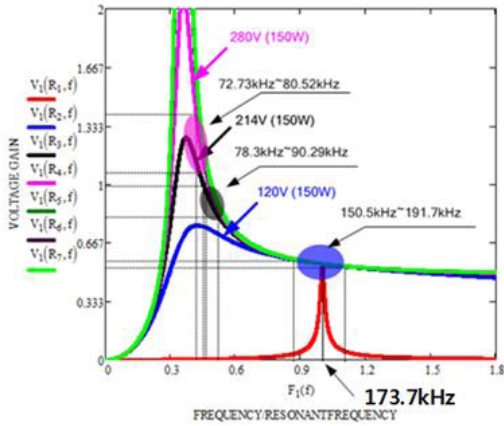
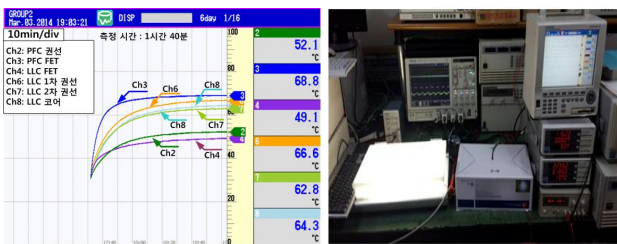


그림 4. 넓은 출력범위를 갖는 LLC 공진컨버터의 이득특성

따라서 LLC 공진컨버터를 설계할 때에 자속밀도변화량을 낮추어서 설계해야하며 Burst Mode 동작을 피하기 위해 적정 전압에서 공진 주파수 동작점을 설정해야한다. 그림 4 는 통합변압기에서 LLC 공진컨버터의 부하와 출력전압에 따른 실제 스위칭 동작범위이며 출력 최저전압인 120V<sub>DC</sub>에서 10%~100%부하변화에 따라서 Burst Mode로 동작하지 않는 것을 확인할 수 있으며 자속밀도변화량을 낮춰서 설계하였기 때문에 높은 출력전압(280V<sub>DC</sub>)에서 코어에서 발생하는 열도 감소시킬 수 있었다.

#### 4. 실험결과

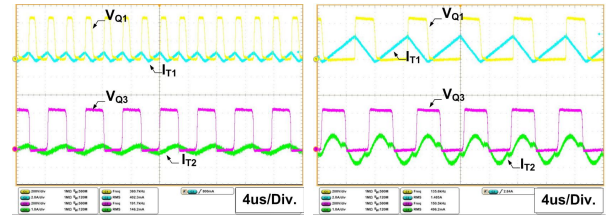
본 논문에서는 150W 정격출력용량을 갖는 Outdoor용 LLP(LED Light Power)보드에 PFC 인덕터와 LLC 공진컨버터를 하나로 통합한 변압기를 제작하여 입력전압 90V<sub>AC</sub>~305V<sub>AC</sub>으로 실험을 하였고 출력 전압은 각각 120V<sub>DC</sub>, 214V<sub>DC</sub>, 280V<sub>DC</sub>로 Dimming제어를 통해 10%~100%부하 변화로 실험하였다.



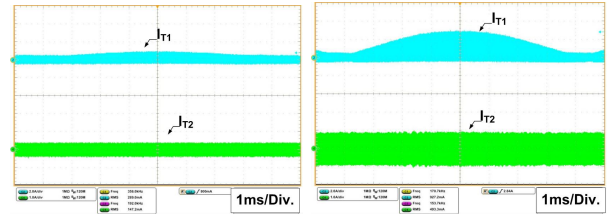
(a) 온도 측정 결과값 (박스밀폐) (b) 실제 실험 사진  
그림 5. 온도 측정 결과

그림 5 (a)는 통합변압기를 LED 어댑터에 적용하여 입력전압 120V<sub>AC</sub> 출력전압 280V<sub>DC</sub>(자속밀도 변화량이 가장 큰 지점)의 조건으로 박스밀폐 후 온도포화점까지 약 1시간 40분 동안 실험한 데이터 값이며 그림 5 (b)는 실제 실험 사진이다. 그림 6 은 입력전압은 120V<sub>AC</sub>, LED 출력전압은 120V<sub>DC</sub>, 출력용량은 각각 8.4W, 84W 조건에서 실험하여 1ms/Div.으로 확인한 파형이다. I<sub>T1</sub>은 PFC 인덕터의 전류이고 I<sub>T2</sub>는 LLC 공진컨버터의 1차측 전류이다. 그림 6 (a)와 같이 가장 낮은 출력전압(120V<sub>DC</sub>) 및 최소부하에서도 Burst Mode로 동작하지 않는 것을 확인할 수 있다. 그림 6 (e)~(h)는 출력전압 214V<sub>DC</sub>(가장 큰 부하전류가 흐르는 지점)와 최대출력전압인 280V<sub>DC</sub>에서 100%부하 상태에서의 실험파형이다. 가장 높은 출력전압(280V<sub>DC</sub>)에서도 100%부하까지 안정된 동작 특성을 가진

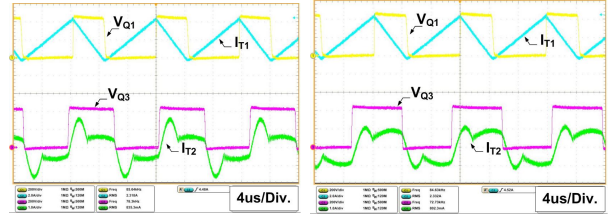
을 확인할 수 있었다.



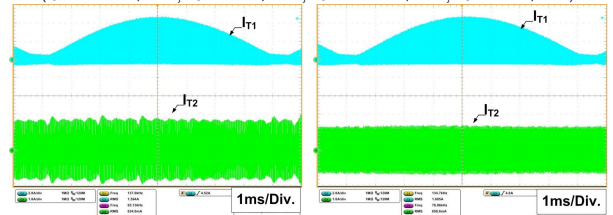
(a) 출력용량8.4W, 출력전압 120V<sub>DC</sub> (Ch1: 200V/div, Ch2: 2A/div, Ch3: 200V/div, Ch4: 1A/div)



(c) 출력용량8.4W, 출력전압 120V<sub>DC</sub> (Ch2: 3A/div., Ch4: 1A/div.)



(e) 출력용량150W, 출력전압 214V<sub>DC</sub> (Ch1: 200V/div, Ch2: 2A/div, Ch3: 200V/div, Ch4: 1A/div)



(g) 출력용량150W, 출력전압 214V<sub>DC</sub> (Ch2: 2A/div, Ch4: 1A/div)

그림 6. LED부하 및 2-in-1 통합변압기 적용 주요파형

#### 4. 결론

본 논문에서는 넓은 출력전압범위를 갖는 LED 전원공급 장치에 적용가능한 2 in 1 통합변압기를 설계 및 제작하였고 실험을 통해 그 적용가능성을 입증하였다.

이 논문은 LG이노텍(주) 산학협력연구과제의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참고문헌

- [1] 이장원, 임지원, 이경한, "LED 제품의 시장동향에 관한 연구" 한국조명·전기설비학회, 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, 2010.5, 59 62 (4 pages)
- [2] Wendt, M. Andriess, J. W. "LEDs in Real Lighting Applications: from Niche Markets to General Lighting", Industry Applications Conference, 2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE (Volume:5 ), 8 12 Oct. 2006, pp. 2601 2603
- [3] Van der Broeck, H. Sauerlander, Georg, Wendt, M. "Power driver topologies and control schemes for LEDs", Applied Power Electronics Conference, APEC 2007 Twenty Second Annual IEEE, Feb. 25 March 1 2007, pp. 1319 1325
- [4] 강철하, 노영재, 최용욱, 김은수, 원종섭, 김동희, 이영수 "통합된 2 in 1 변압기 적용 150W급 LED 조명전원" 전력전자학회, 전력전자학회 2013년도 추계학술대회 논문집 2013.11, page(s): 163 164