

# 차량 충전용 고효율 절연형 컨버터 개발

박민준, 진호상, 이건희, 황광규, 김우섭, 이재호  
LS산전 전력전자연구소 EV전력전자개발팀

## The development of high efficiency isolated converter for vehicle charger

Park. Minjun, Jin. Hoshang, Lee. Gunhee, Hwang. Kwangkyu, Kim. Woosup, Lee. Jaeho  
LS Industrial Systems Co. LTD, Korea

### ABSTRACT

This paper is about the suggestion for the development in the commercialization for 3.6kW Class On-Board charger. It is suggesting non-insulation AC-DC Boost Power Factor correction circuit and insulation DC-DC resonant Converter for circuit design. In addition, Input AC voltage in the power supply is DCM control which can be designed to decrease the inductance for the inductor size to be reduced. DCM controls and Interleaved PFC can be designed to decrease the inductor size increasing the power conversions. Also, using the insulation DC-DC resonant converter, the efficiency can be increased. This system is verified using prototype hardware.

### 1. 서론

전 세계적으로 화석 에너지, 환경문제로 신재생 에너지와 더불어 전기 자동차(Electric Vehicle)에 대한 관심이 높아지고 있다. OBC는 EV 자동차 구성 System에서 공공 네트워크의 전기에너지를 차량 에너지 축적 장치(Li-ion Battery)가 필요로 하는 직류 전류로 변환하고, 차량 에너지 축적 장치(Li-ion Battery)에게 충전하는 장치이다. 차량 충전기는 교류 입력 인터페이스, 파워 단원, 제어단원, 직류 출력 인터페이스 등으로 구성되어 있다.

현재 EV의 상용화에 문제가 되는 가격, 주행거리 등을 해결하기 위해 소형화, 경량화, 고효율 충전 시스템 OBC를 요구하고 있다. 또한 고압 부품으로 과전압, 부족전압, 단락 등 보호 기능을 갖추어야 하며, 국가 법규 표준에 상응하는 안정성능을 만족해야 한다. 이러한 조건을 만족하는 자사 LSIS OBC는 3.6KW 용량으로 Efficiency >95%, 회로구성 최적화된 Size로 상용화 개발을 제안 한다.

### 2. 회로구성 및 동작모드 분석

#### 2.1 회로구성

일반적인 차량 탑재형 충전기는 2단 구성이며 입력 전류의 고조파 제어를 담당하는 PFC 컨버터와 절연과 충전제어를 담당하는 DC/DC 컨버터로 구성된다. 이러한 구조는 고역률과

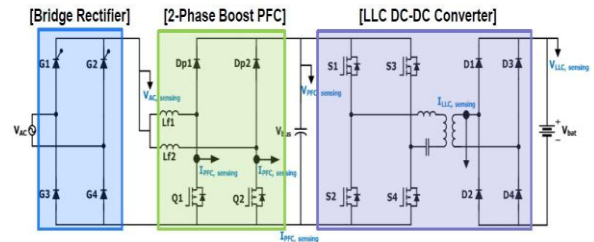


그림 1. 제안한 충전기 회로도

Fig. 1 Proposed Charger Topology

넓은 입력전압 범위, 그리고 출력전류 특성이 좋은 장점이 있다. DC/DC 컨버터로 주로 사용되는 풀브릿지 컨버터는 스위칭 주파수를 높임에 따라 스위칭 손실이 커지기 때문에 높은 주파수에서 스위칭 동작이 어렵다. 그 결과 주파수와 관계된 수동소자의 사이즈를 줄이기 어렵고 따라서 전력밀도를 높이기 어렵다. 또한 변압기의 누설인덕터로 인해 변압기 2차 측의 스파이크 전압이 크고 이를 해소하기 위한 스너버 회로가 추가되어야 하며 이것 또한 고 전력밀도와 효율부분에서 단점으로 작용한다.

본 논문에서 제안하는 회로는 그림1 회로로 고역률의 PFC 컨버터와 넓은 범위에서 고효율의 LLC 컨버터를 이용한 새로운 2단 구성 회로이다.

LS OBC	시스템 용량		3.6kW
	내 진동 성능		3Grms
	Size		300*230*110[mm]
	최대 효율		>95%
	PFC	입력전압	180~260 Vac
		최대입력전류	16A
		역률	99%
LLC	출력전압	200~400V	
	최대출력전류	15A	

표 1. 충전기 사양

#### 2.2 동작모드 분석

제안한 회로의 1차단 동작은 SCR을 통하여 PFC 출력 CAP을 초기 충전 함으로 기존의 Relay를 사용하여 초기 충전방법보다 기계적인 신뢰성을 향상시켰다. 회로의 동작은 그림2 와 같으며, 구성은 2Phase의 Interleaved Boost PFC로 180° Phase shift PWM Switching 되며 Output capacitance를 줄여 소자의 stress 및 크기를

줄였다.

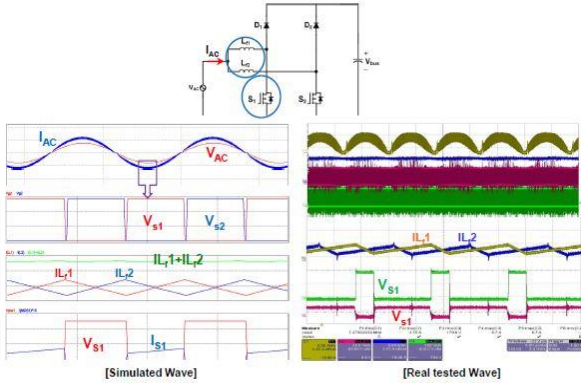


그림 2. PFC 파형  
Fig. 2 Waveform of PFC

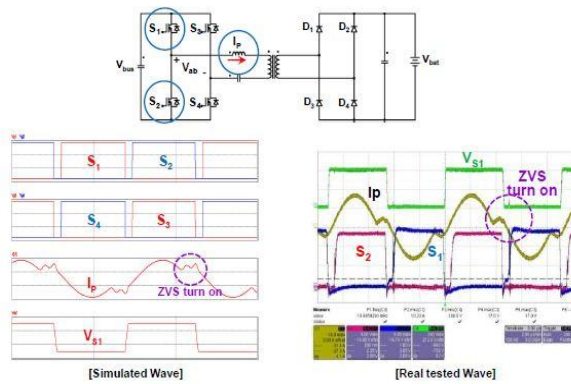


그림 3. LLC 파형  
Fig. 3 Waveform of LLC

2차단 고압 충전 회로는 Isolation type의 series LLC resonant Converter이다. LLC 공진형 컨버터는 ZVS turn on 되며, 낮은 부하와 높은 부하에서 MOSFET의 turn off 전류가 낮아 넓은 범위에서 Switching 손실을 줄여 효율을 높였다. 공진주파수를 최적화하여 Transformer 부피 및 Inductor loss를 줄였으며, 정류단 스위치가 ZCS turn off 됨으로 clamp 회로가 필요 없어 소형화·고효율에 적합하였다. 회로 동작 파형은 그림3 과 같다.

SCR이 적용된 Interleaved PFC, series LLC resonant Converter는 아날로그 제어를 이용하여 입·출력 전압·전류 제어 및 파워를 제안하였다. 아날로그 제어기는 소신호 모델링으로 구현하였으며, Matlab으로 제어기의 안정도를 분석하였다. MCU에서 배터리 상태에 따라 CC, CV 모드를 결정하며 각각 독립적인 제어로 파워변환장치의 간섭을 최소화 하였다.

### 2.3 기기 설계 시뮬레이션 결과

본 논문의 열 해석 결과 정격 3.6kW, 냉각수 온도 65°, 외기온도 85°, 냉각수 유량 Glycol-50, 1LPM의 조건에서 Power MOSFET는 정격 온도 내외로 유지된다. 또한 전체적으로 진동 최대 응력이 0.55MPa, 최대 변위량은 0.007mm로 안정된 응력값과 변위량을 갖는다.

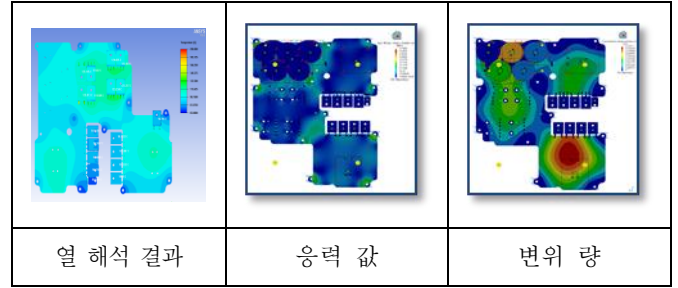


그림 4. 충전기 열 해석 및 진동해석 결과  
Fig. 4 Thermal analysis and Vibration Analysis Result

### 3. 결론

본 논문에서는 2단 구성의 차량용 충전기를 제안 하였다. 2Phase Interleaved PFC를 이용하여 Output capacitance, noise filter의 크기를 소형화·고효율화 하였다. Series LLC resonant Converter를 적용하여 ZVS turn on, 정류단 스위치 ZCS turn off 효과로 제품의 효율을 상승시켰다. 제안된 충전기 회로를 적용하여 3.6kW Prototype을 제작하여 동작 확인 및 효율을 확인 하였다.

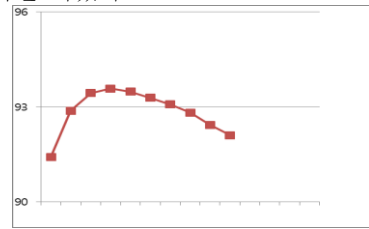


그림 5. 충전기 효율 곡선  
Fig. 5 Efficiency Waveform of Charger



그림 6. 제품 사진  
Fig. 6 Charger Prototype

### 참 고 문 헌

- [1] D. Gautam, F. Musavi, M. Edington, W. Eberle and W. G. Dunford, "An automotive on-board 3.3 kW battery charger for PHEV application," IEEE VPPC, 2011, pp. 1-6
- [2] B. Yang, F. C. Lee, A. J. Zhang, G. Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion", IEEE APEC, 2002, pp. 1108-1112
- [3] V. Vlatkovic, J.A. Sabate, R. B. Ridley, F. C. Lee, and B. H. Cho, "Small-Signal Analysis of the Zero-Voltage Switched Full-Bridge PWM Converter", High Frequency Power Conversion pp. 262-271, 1990