

# 넓은 충전전압 범위를 갖는 50kW급 고효율 급속충전기 개발

김주하, 정현수, 박준성, 최세완  
서울과학기술대학교

## Development of 50kW High Efficiency Fast Charger with Wide Charging Voltage Range

Jooha Kim, Heonsoo Jeong, Junsung Park, Sewan Choi  
Seoul National University of Science and Technology

### ABSTRACT

본 논문에서는 넓은 충전전압 범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 개발하였다. 고효율을 달성하기 위해 AC/DC 컨버터 및 DC/DC 컨버터 모두 3레벨 방식을 적용하였으며 DC/DC 컨버터에 하이브리드 스위칭 기법을 적용하여 넓은 출력전압범위에서 높은 효율을 유지한다. 50kW 시작품을 통해 타당성을 검증하였으며, AC/DC 컨버터 및 DC/DC 컨버터의 정격부하 효율은 각각 98.2%, 97.1%이며 최고효율은 98.6%, 97.1%를 달성하였고, 전체시스템의 정격부하 효율은 95.3%를 달성하였다.

### 1. 서론

전기자동차의 보급 확대와 운용 활성화를 위해 기존 주유기에 해당하는 급속충전기의 충전 인프라 구축이 필수적이다. 현재까지 개발된 급속충전기는 효율은 대체적으로 89~93%정도이고, 부피가 큰 단점이 있다. 표 1에 개발하고자 하는 급속충전기의 목표사항을 나타낸다. 본 논문에서는 AC/DC 컨버터 및 DC/DC 컨버터에 3레벨 토폴로지를 적용하였다. AC/DC 컨버터는 상전압이 3레벨로 출력되므로 스위칭 손실과 필터 손실이 작고, DC/DC 컨버터는 전압정격을 반으로 줄여 MosFET를 사용할 수 있어 고효율 달성이 가능하다. 또한 DC/DC 컨버터는 고주파 스위칭이 가능하므로 변압기 및 인덕터의 부피를 최소화 할 수 있다.

그리고 DC/DC 컨버터에 충전전압이 낮을 때는 하프브릿지, 충전전압이 높을 때는 풀브릿지 스위칭을 하는 하이브리드 스위칭기법을 적용하여 넓은 배터리 전압에서도 고효율을 달성할 수 있다.<sup>[1]</sup>

표 1 급속충전기 목표 사양

구분	주요사항	비고
용량	50kW	
입력전압	3상 380V	AC
출력전압	100~500V	DC
출력전류	0~100A	DC
역률	0.95 이상	Rated Power
계통전류 THD	5% 이내	Rated Power
효율	94% 이상	Rated Power
충전방식	CC-CV	

### 2. 제안하는 급속충전기

#### 2.1 AC/DC 컨버터

3상 AC/DC 컨버터는 삼상 AC전원을 DC전원으로 변환을 하면서 계통의 전류 고조파 제거와 역률 보상을 수행한다. 일반적으로 2레벨 컨버터가 사용되지만, 고효율 달성을 위해 3레벨 토폴로지 적용이 필요하다. 3레벨 토폴로지는 크게 그림 1의 T-type 컨버터와 Neutral Point Clamped(NPC) 컨버터가 있다. 두 토폴로지는 공통적으로 3레벨 출력으로 입력필터를 작게 가져 갈 수 있다. 그러나 T-type 토폴로지가 NPC 토폴로지에 비해서 선정환 스위칭주파수(13kHz)인 medium switching frequency(10kHz~30kHz)에서 스위치의 도통손실을 더 줄일 수 있기 때문에<sup>[2]</sup> 본 논문에는 T-type 토폴로지를 적용하였다.

#### 2.2 DC/DC 컨버터

제안하는 DC/DC 컨버터는 그림 1과 같이 3레벨 구조로 두

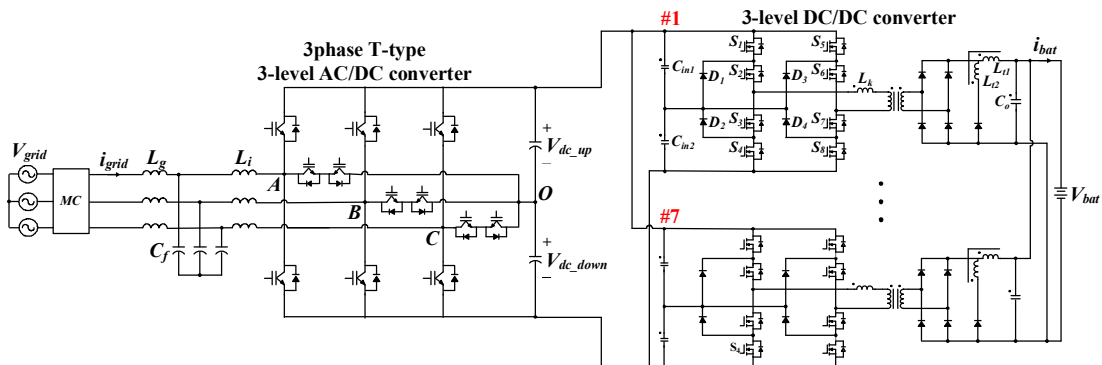


그림 1 제안하는 급속충전기 회로도

티제어 방식을 사용한다. 스위치 전압정격이 입력전압의 절반이 되어 600V MosFET 사용이 가능해 특성이 좋은 MosFET 선정으로 고효율 달성할 수 있으며 고주파 스위칭(50kHz)으로 변압기, 인덕터, 필터 커패시터 등의 수동소자 부피를 줄일 수 있다. 제한한 DC/DC 컨버터는 모든 스위치가 ZVS 턴 온이 가능하며 필터 인덕터에 커플인덕터 방식을 적용하여 순환 전류를 줄이고 Lagging Leg 스위치( $S_2, S_3, S_6, S_7$ )의 ZCS 턴 오프를 성취시켜 스위치의 도통 및 스위칭 손실을 줄일 수 있다. 또한 스위치 턴 오프 전압이  $V_{in}/4$  이기 때문에 스위치 턴 오프 시 손실을 줄일 수 있고 스위치의 ZVS 범위가 늘어나는 장점이 있다. 그리고 위상제어 방식과 달리 돌입전류 문제가 없어 초기충전 회로가 필요 없다.

### 3. 실험결과

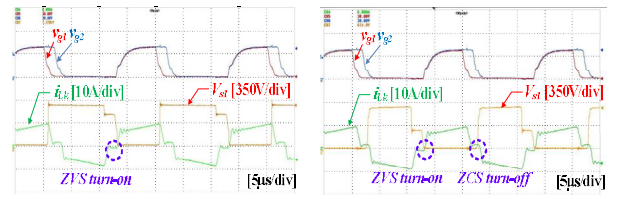
그림 2와 같이 제안하는 급속충전기의 타당성을 검증하기 위해 AC/DC 컨버터 1대와 절연형 DC/DC 컨버터 7대의 모듈로 구성된 50kW 시작품을 제작하였다. 제어기는 DSP와 FPGA 기반의 디지털제어기로 DSP는 TI사의 TMS320F28335, FPGA는 Xilinx사의 Spartan-3E XC3S500E를 사용하였다. 시작품의 전체 크기는 750mm\*750mm\*1350mm(759L)이다.

그림 3(a)~(c)는 DC/DC 컨버터의 스위치 전압 및 전류 파형과 다이오드 전류 파형이다. Leading Lag 스위치( $S_1$ )는 ZVS 턴온을 하며 Lagging Lag 스위치( $S_2$ )는 ZCVS 턴 온 및 ZCS 턴오프를 성취한다. 2차측 다이오드는 ZCS 턴오프를 성취한다. 그림 4(a)는 무부하에서 50kW로 부하 증가 시 DC링크 측의 전압 및 전류 파형이다. DC링크 상·하측의 중성점 전압이 불균형 없이 제어 되는 것을 볼 수 있다. 그림 4(b)는 50kW에서의 계통측 전류 파형으로 계통의 저차고조파 보상기법 적용 및 최적 LCL필터 설계를 통해 고조파왜율(THD)이 3.5%로 측정 되어 목표사양을 만족하였다.

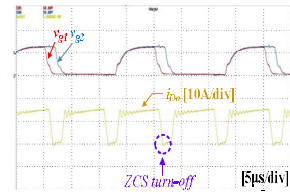
그림 5는 측정효율로 AC/DC 컨버터는 30kW에서 최고효율 98.6%, DC/DC 컨버터는 40kW에서 최고효율 97.1%, 전체충전기 효율은 정격부하에서 95.3%를 달성하여 목표사양을 만족하였다.



그림 2 50kW급 급속충전기 시작품

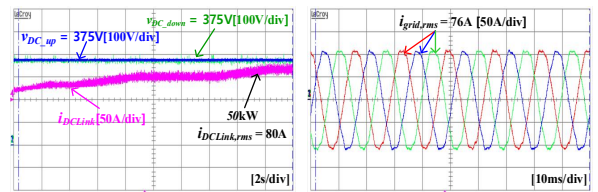


(a) 스위치  $S_1$  전압, 전류 파형 (b) 스위치  $S_2$  전압, 전류 파형



(c) 2차측 다이오드 전류 파형

그림 3 3레벨 DC/DC컨버터 실험파형



(a) DC링크 전압, 전류 (b) 계통 각 상전류

그림 4 배터리 충전 시 3레벨 T-type AC/DC 컨버터 실험파형

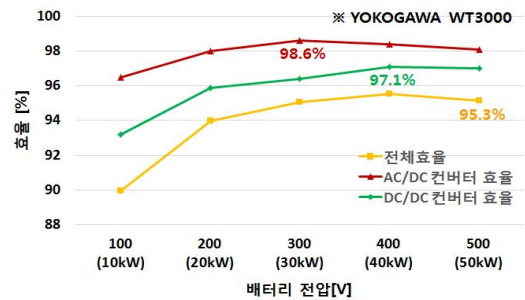


그림 5 급속충전기 측정효율(배터리전류 100A일 때)

### 3. 결론

본 논문에서는 넓은 충전전압 범위에서 고효율을 갖는 전기자동차용 급속충전기 제안하였고, 50kW급 시작품 제작 및 실험을 통해 정격부하 효율 95.3% 달성하여 본 논문의 타당성을 검증 하였다.

본 논문은 시그넷시스템즈(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

### 참고 문헌

- [1] 정현수, 박준성, 최세완 “넓은 충전 전압범위를 갖는 전기자동차용 급속충전기를 위한 3레벨 DC-DC 컨버터의 하이브리드 스위칭 기법” 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2013.11, 15-16
- [2] M Schweizer and J.W Kolar, “Design and Implementation of a Highly Efficient Three-Level T-type Converter for Low-Voltage Applications”, IEEE Trans. Power Electron, vol. 28, no. 2, pp. 899-907, Feb. 2013.