

# 넓은 출력 범위를 갖는 고효율 급속충전기에 관한 연구

이상혁, 양규남, 신덕식, 이상택, 민성수\*, 김래영\*  
한국전자기술연구원, 한양대학교\*

## A Study on High Efficiency Fast Charger with Wide Output Voltage Range

Sang Hyeok Lee, Gyu Nam Yang, Duck Shick Shin, Sang-Taek Lee, Sung-Soo Min\*, Rae-Young Kim\*  
Korea Electronics Technology Institute(KETI), Hanyang University\*

### ABSTRACT

온실가스 배출 규제에 대응하기 위해 전기차 상용화와 충전 인프라 구축이 확대되고 있으며 고효율로 넓은 출력 범위를 갖는 급속충전기에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 일반적인 급속충전기는 3상 AC 계통 전압을 입력받아 PFC 동작을 하는 AC/DC 컨버터와 안정적인 출력을 위한 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 급속충전기의 고효율과 넓은 출력 범위를 갖기 위해 본 논문에서는 탭 변압기를 이용한 넓은 출력 범위 구현과 2-Stage 대신 1-Stage로 구성된 새로운 급속충전기 구조에 대해 제안하고자 한다.

기존 급속충전기 구조는 그림 1과 같이 3상 계통(Grid), 수배전반&저압변압기, 계통연계 필터, AC/DC 컨버터, DC/DC 컨버터로 구성되어 있으며 2개의 컨버터 효율이 전체 급속충전기 효율에 연계된다. 급속충전기는 3상 계통 22.9[kVac]가 수배전반&저압변압기를 거쳐 강압된 380[Vac] 전압은 AC/DC 컨버터 입력으로 사용하기 때문에 계통연계 필터가 필수적으로 사용되며, 급속충전기의 효율 향상을 위해 고효율 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터 토폴로지 선정에 신중해야 한다. 일반적으로 AC/DC 정류기 컨버터로는 3레벨 NPC 타입 컨버터, 3레벨 T 타입 컨버터 및 비엔나 정류기 컨버터 등으로 구분할 수 있으며, DC/DC 컨버터로는 위상천이 컨버터(PSFB), LLC 공진형 컨버터, 3상 절연형 인터리브드 컨버터 등이 있다.<sup>[1]</sup>

### 1. 서 론

주요 선진국들이 기후변화에 대응하여 온실가스 배출을 줄이기 위해 미국의 인플레이션 감축법(IRA), 우리나라의 2050 탄소중립, 그린뉴딜 정책을 통해 전기차 시장이 급속히 성장함에 따라 전기차 충전소 시장도 빠르게 성장하고 있다. 국내에서는 현대자동차, LG, SK, 롯데, 한화, LS, GS 등 국내 대기업들이 기존 관련 업체 지분을 인수하거나 신규 회사를 설립하여 충전 인프라 시장에 진출하고 있으며 보다 빠른 초급속 충전에 대한 수요를 만족하기 위해 기존 400[V]의 충전 방식에서 800[V] 충전 방식을 적용하여 아이오닉6 경우 18분만에 배터리 SOC 10[%]에서 80[%]까지 충전이 가능하다. 따라서 최근 개발되는 급속충전기는 저전압 200[V]부터 고전압 1000[V]까지 넓은 출력이 가능하고 고효율 전력변환기를 통한 손실 저감과 대응량화를 위한 병렬 운전을 통해 전기차의 배터리를 효율적으로 충전할 수 있는 급속충전기에 대한 연구를 진행하고 있다. 본 논문에서 제안하는 급속충전기는 전기차의 400[V]와 800[V] 배터리를 충전할 수 있는 넓은 출력 범위를 갖기 위해 탭 변압기를 사용하였으며 기존 2-Stage 대신 1-Stage 구성하여 최대 효율 98[%] 만족하는 새로운 급속충전기 구조에 대해 제안하고자 한다. 제안된 급속충전기는 시뮬레이션을 통해 탭 변압기 기반의 컨버터 PFC(Power Factor Correction) 동작과 출력 제어를 확인함으로써 타당성과 우수성을 검증하고자 한다.

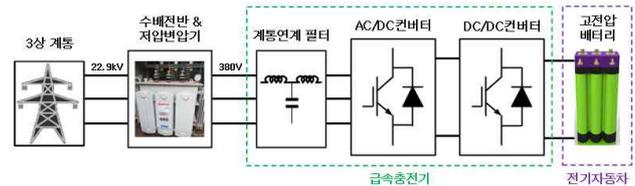


그림 1 기존 급속충전기 구성도  
Fig. 1 Conventional Fast Charger configuration diagram

제안된 급속충전기 구조는 그림 2와 같이 넓은 출력 범위를 구현하기 위해 저압변압기 대신 탭변압기를 적용하였고 고효율을 구현하기 위해 기존 2-stage 대신 1-stage로 AC/DC 컨버터를 이용하여 급속충전기 구조를 제안하고자 한다.

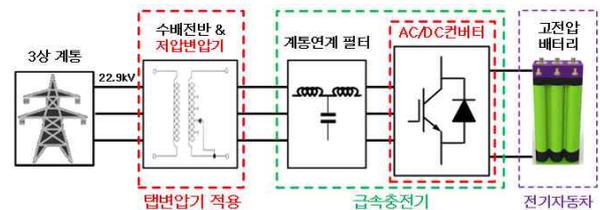


그림 2 제안된 급속충전기 구성도  
Fig. 2 Proposed Fast Charger configuration diagram

AC/DC 컨버터 제어 블록도는 그림 3과 같이 PFC 동작과 출력 전압/전류를 제어함으로써 안정적인 배터리 충전이 가능하며 저압변압기 대신 탭변압기를 사용하여 AC/DC 컨버터 입력전압을 변동시킴으로써 넓은 출력 범위 동작을 가능하게 한다.

### 2. 제안된 급속 충전기

#### 2.1 급속충전기 구조

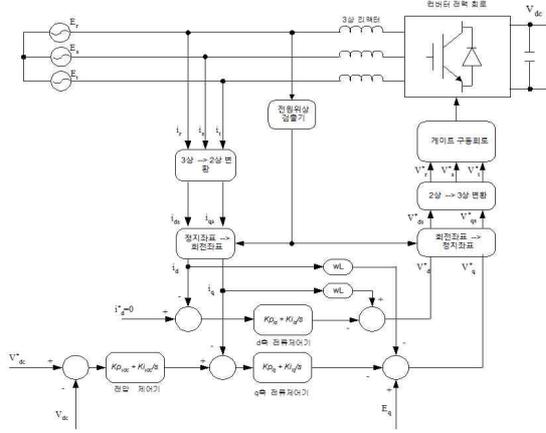


그림 3 AC/DC 컨버터 제어기 구성도  
Fig. 3 AC/DC Controller configuration diagram

AC/DC 컨버터 제어로직은 출력 제어와 단일 역률 제어를 위해  $E_d=0$ ,  $E_q=E$ (상피크전압)이 되도록 좌표축을 설정하고  $i_d=0$  이 되게 함으로써 단일 역률을 구현할 수 있으며 입력 전류  $i_q$ 를 제어함으로써 컨버터의 출력 전류를 제어하는 것이 가능하다. 3상 전류를 고정/회전 좌표변환을 통해 얻은 d축, q축 전압 방정식과 컨버터 입력 전력과 출력 전력과 관계는 다음과 같다.[2]

$$E_d = (L_s + R)i_d - \omega L_i q + V_d \quad (1)$$

$$E_q = (L_s + R)i_q + \omega L_i d + V_q$$

$$V_{dk} i_i = \frac{3}{2} (V_d i_d + V_q i_q) \quad (2)$$

## 2.2 시뮬레이션

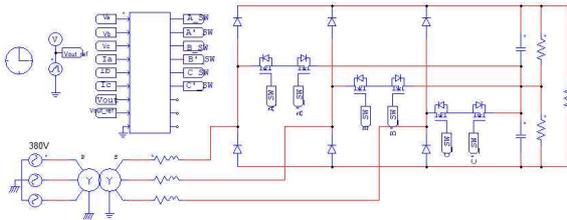
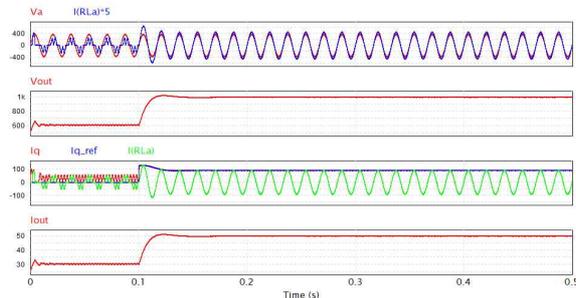
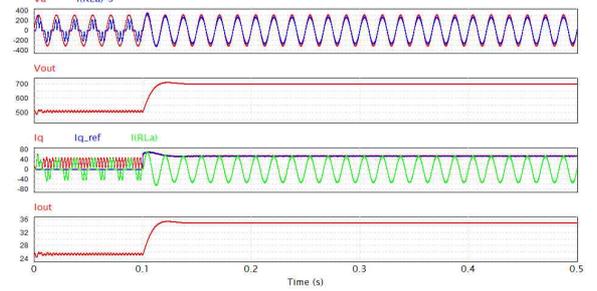


그림 4 제안된 급속충전기 시뮬레이션 회로도  
Fig. 4 Proposed Fast Charger Simulation Circuit

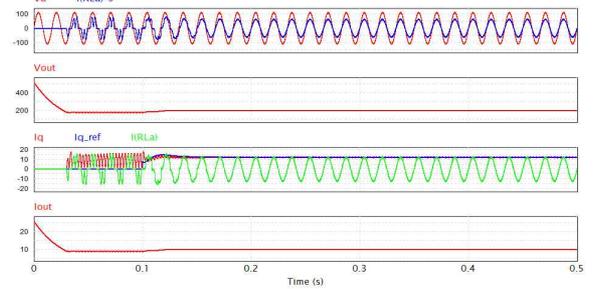
본 논문에서 제안된 넓은 출력 범위를 갖는 고효율 급속충전기를 검증하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4와 같이 380[Vac] 계통전압, 탭변압기, AC/DC 비연나 컨버터 그리고 제어로직은 C Block을 사용하여 구성하였다.



(a) Vref = 1000[V], Iref = 50[A]



(b) Vref = 700[V], Iref = 35[A]



(c) Vref = 200[V], Iref = 10[A]

그림 5 시뮬레이션 출력 파형  
Fig. 5 Simulation Output Waveforms

그림 5는 시뮬레이션 출력 파형으로 탭변압기를 가변하여 최대 1000[V], 정격 700[V], 최소 200[V]의 넓은 출력전압이 가능하며 q축 목표 전류값( $I_{q\_ref}$ )을 가변함으로써 최종 출력 전류값( $I_{out}$ )이 정상적으로 추정하는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 넓은 출력 범위를 갖는 고효율 급속충전기에 대해 소개하였으며 이를 구현하기 위해 기존 2-stage 대신 1-stage로 AC/DC 컨버터를 이용하였고 넓은 출력 범위를 구현하기 위해 저압변압기 대신 탭변압기를 이용하여 200[V]~1000[V] 출력을 확인하였다. 제안된 급속충전기 구조의 타당성 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 향후 대응량화를 위해 병렬운전 알고리즘에 대해 연구할 계획이다.

본 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원의 지원을 받아 수행한 연구임. (No. 20222020900080, 운전자 맞춤형 스마트 충전서비스 및 고효율 충전시스템 개발 및 실증)

## 참고 문헌

- [1] 진성수, 이교범, "전력전자기술을 활용한 전기자동차 급속충전기 개발 및 소개", 대한전기학회, Vol. 69, No. 5, pp. 10-15, 2020, May.
- [2] 김영삼, 권영안, "가상 자속관측기를 이용한 3상 AC/DC PFC PWM 컨버터의 직접 전력 센서리스 제어", 대한전기학회, Vol. 61, No. 10, pp. 1442-1447, 2012, Oct.