

# 150-1000V 출력범위를 갖는 V2G용 고효율 양방향 충전기 개발

나 재 호 · 박 준 성 · 신 의 경  
자동차부품연구원

## Development of high-efficiency bidirectional charger for V2G with 150-1000V output range

Jacho Na · Junsung Park · Waegyong Shin  
Korea Automotive Technology Institute

### ABSTRACT

본 논문은 다양한 전기 자동차의 배터리 전압을 위해 150V-1000V의 넓은 출력전압을 만족하고 전기자동차의 수요자원화를 위해 양방향 제어가 가능한 DC-DC 컨버터를 제안한다. 제안하는 컨버터는 절연형 컨버터와 비절연형 컨버터가 결합된 2단 방식의 구조로 연결된 배터리의 전압에 따라 CC(Constant Current) 또는 CP(Constant Power)로 동작한다. 전체시스템은 20kW급으로 설계하여 시뮬레이션 및 시제품을 통해 출력특성 및 효율을 분석하였다.

### 1. 서론

최근 환경오염 및 CO<sub>2</sub> 규제가 중요시 되면서 각 나라의 정부는 보조금 지원 등 장려 정책을 시행하여 전기자동차 보급이 급격히 증가할 것으로 예측된다. 전기자동차의 급증에 따라 EV(Electric Vehicle) 충전의 불편함을 해소하기 위해 충전 인프라 구축 또한 세계적으로 이슈이다. 그림 1과 같이 기존의 EV 충전기는 전기자동차가 충전기에 연결되는 즉시 충전이 시작되고, 완충시 충전이 종료되는 단순 전력공급(V0G) 방식이 주로 설치되어왔지만 EV 10만대는 700MW급 ESS와 같은 수요 자원이므로 EV의 배터리 제어를 통해 에너지 자원으로 활용이 가능하기 때문에 양방향 충·방전 제어(V2G)에 대한 연구가 급증하고 있다.<sup>[1]</sup> 또한 전기적 안전 때문에 절연이 요구되고 급속 충전을 위해 전기자동차의 배터리 전압 사양이 높아지고 있는 추세이기 때문에 다양한 배터리 전압사양을 만족시키는 양방향 EV 충전기 개발이 필요하다.<sup>[2][3]</sup> 본 논문에서는 이러한 충전기 개발 동향에 맞추어 넓은 출력범위와 양방향 제어 두 조건을 만족하면서 고효율을 유지하기 위해 절연형 양방향 컨버터와 비절연형 컨버터를 직렬 연결한 결합형 컨버터를 개발하였다.



그림 1 전기자동차의 충전방식

### 2. 2-Stage DC-DC 컨버터

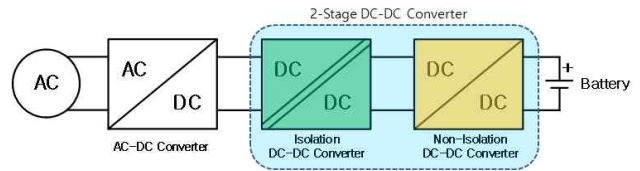


그림 2 제안하는 충전기의 블록도

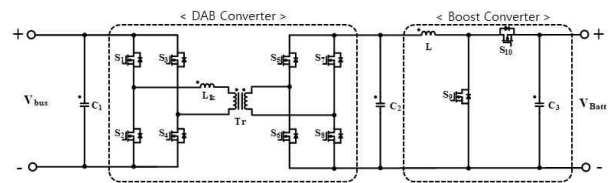


그림 3 제안하는 DC-DC 컨버터의 회로도

기존 전기자동차 충전기용 파워모듈은 단방향으로 개발되었으며, 절연형 DC-DC 컨버터의 토폴로지는 대부분 Phase shift full bridge(PSFB) 컨버터 또는 3-level PSFB를 사용한다. 이는 하나의 컨버터만 적용되어 시스템 구성이 단순하지만 높은 출력전압(최대 듀티)에서 효율이 높고 출력전압이 낮아질수록 순환전류로 인해 효율이 감소하는 특성이 있다. 이러한 특성으로 인해 현재 가장 많은 사용되는 전기자동차의 배터리 전압(300~400V)에서 효율이 낮은 단점이 있다.

그림 2는 제안하는 충전기의 블록도로서 DC-DC 컨버터는 절연형 컨버터와 비절연형 컨버터가 결합된 2-Stage로 구성된다. 절연형 컨버터는 단방향 충전시에는 PSFB Converter 또는 LLC, SRC 등과 같은 공진형 컨버터를 사용할 수 있고, 양방향 응용에서는 Dual Active Bridge(DAB) Converter 또는 CLLC 등과 같은 공진형 컨버터를 사용할 수 있다. 또한 전력소자의 사양과 제어 전략에 따라 절연형 컨버터와 비절연형 컨버터는 순서를 자유롭게 선택할 수 있다.

본 연구에서 2-Stage DC-DC 컨버터는 그림 3과 같이 DAB와 양방향 Boost 컨버터 구조를 선정하였고 표 1은 충전기의 사양을 나타낸다. 배터리 충전 시 AC-DC 컨버터는 배터리 출력전압에 따라 V<sub>bus</sub> 전압을 700~800V 사이의 전압을 제어하며, DAB 컨버터는 V<sub>bat</sub>이 150~500V일 때 전류제어를 한다. 충전기에 DAB의 전압 범위를 넘어갈 경우 Boost 컨버터

가 동작하여  $V_{bat}$  전압을 최대 1000V까지 대응 할 수 있다.

표 1 제안하는 양방향 충전기 사양

구분	사양	비고
입력전압	AC 3상 380V	60Hz ± 1
출력전압	DC 150 ~ 1,000V	정밀도 ±3% 이내
출력전력	20kW	정밀도 ±3% 이내
최대효율	≥96%	모든 전압에서 93% 이상
역률	≥95%	
THD	전압: 5% 미만, 전류 14% 미만	

### 3. 실험결과

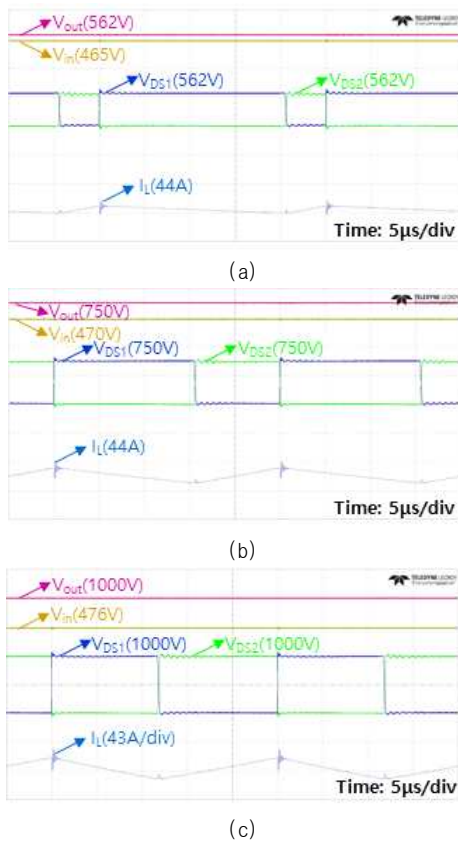


그림 4 Boost Converter의 Duty에 따른 입·출력전압; (a)duty 0.2, (b)duty 0.4, (c)duty 0.6

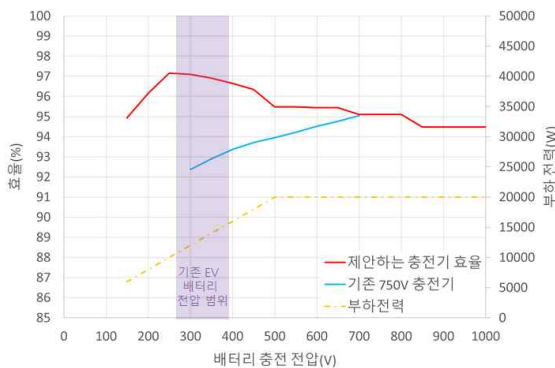


그림 5 배터리 충전 전압 및 부하에 따른 효율분석

그림 4는 SiC를 적용한 Boost 컨버터의 실험파형을 나타낸다. Boost 컨버터 듀티에 따른 효율을 실험하여 CC-CP 충전 프로파일에 따른 최적 제어를 위한 효율 시험을 하였다. 그 결과 Boost 컨버터의 듀티범위를 0.2~0.6사이에서 동작하도록 전체 제어시스템을 설계하였다.

그림 5는 제안하는 2-Stage DC-DC 컨버터가 적용된 충전기의 충전전압 및 충전용량에 따른 효율과 현재 판매되고 있는 최대 출력전압 750V, 최대출력 20kW급 파워모듈의 효율을 비교한 그래프이다. 제안하는 충전기는 실험을 통해 AC-DC 컨버터의 효율과 Boost컨버터의 효율이 적용되었고, DAB 컨버터는 시뮬레이션을 통해 스위칭손실만을 적용한 효율을 적용하였다. 기존 파워모듈의 경우 실험을 통해 측정된 결과로 배터리 전압이 낮을수록 효율이 감소하는 경향을 볼 수 있다. 반면에 제안하는 충전기의 경우 현재 가장 많이 사용되고 있는 배터리 전압에서(300~400V) 최대 96% 효율을 달성하며, 그 외 배터리 전압에서도 94% 이상의 효율을 달성할 수 있을 것으로 예상된다.

### 4. 결론

본 논문에서는 넓은 출력전압에서 고효율을 갖는 20kW급 절연형 양방향 충전기를 제안하였다. 제안한 DC-DC 컨버터는 절연형 양방향 컨버터인 DAB 컨버터와 비절연형 컨버터인 Boost 컨버터를 결합한 2-Stage로 구성하여 150~1000V의 충전전압을 출력할 수 있고, 충전기의 충전 효율은 최대 97%, 전 충전전압 영역에서 94% 이상의 높은 효율을 달성할 것으로 보인다.

이 논문은 산업통상자원부 에너지기술개발사업 “EV의 수요자원화를 위한 통합제어기술 개발 및 V2G 실증(과제번호 : 20182010600390)”의 지원을 받아 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] 오진홍, 차재훈, 최태성, 고재훈, 김재연, “ESS와 V2G를 이용한 미래 제주 배전계통 안정화에 대한 연구”, 대한전기학회 학술대회 논문집, 171-172, 2017.
- [2] 박준성, 김민재, 정현수, 김주하, 최세완, “넓은 충전전압 범위를 갖는 50kW급 고효율 급속충전기 개발”, 전력전자학회 논문지, 267-274, 2016.
- [3] 김병우, 김강산, 조우식, 아디스티라, 김규영, 최세완, “800V 배터리 전기자동차 LDC용 낮은 스위치 전압정격을 갖는 새로운 소프트 스위칭 하프브리지 컨버터”, 전력전자학회 학술대회 논문집, 96-98, 2018.