

# 48V 교환형 배터리 전기차용 신규 통합형 컨버터 개발

김재훈<sup>1</sup>, 송희경<sup>1</sup>, 김유빈<sup>1</sup>, 최세완<sup>1</sup>, 여인용<sup>2</sup>, 이윤식<sup>2</sup>, 김상진<sup>2</sup>,  
 서울과학기술대학교<sup>1</sup>, 현대자동차(주)<sup>2</sup>,

## A New Integrated Converter for 48V Swappable Battery electric vehicles

Jaehoon Kim<sup>1</sup>, Huigyoung Song<sup>1</sup>, Youbin Kim<sup>1</sup>, Sewan Choi<sup>1</sup>,  
 In-yong Yeo<sup>2</sup>, Youn-sik Lee<sup>2</sup>, Sang-jin Kim<sup>2</sup>

Seoul National University of Science and Technology<sup>1</sup>, Hyundai Motors Inc<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문은 48V 배터리 전기차의 교환형 배터리 적용을 위한 새로운 통합 시스템을 제안한다. 제안하는 통합형 시스템은 On-board charger(OBC) 및 Swap battery DC-DC converter(SBDC)가 통합된 구조로 기존 구조보다 소자수가 적어 가격 및 부피를 줄일 수 있다. 회로는 Phase-shift full bridge(PSFB) 컨버터와 Buck 컨버터가 통합된 구조이며, 2차측 다이오드 및 필터 인덕터가 공통으로 사용된다. 3.3kW OBC 및 2kW SBDC 통합형 컨버터 시제품을 제작하여 실험으로 검증하였다.

### 1. 서론

인도 등 개발도상국에서는 정부의 재정 상황으로 전기자동차 충전소 인프라가 부족하며, 높은 전압의 400V 배터리 보조금을 지원하는데 어려움이 있다. 이에 따라 인도, 중국 등 여러 나라에서는 400V 고전압 배터리에 비하여 가격이 낮은 48V 배터리가 이삼륜 전기자동차에 활용되고 있다 [1]. 최근에는 여러 기업에서 48V 승용차를 개발 중에 있으나, 배터리 용량이 작아 주행거리가 짧은 문제가 있고 OBC가 탑재되더라도 충전 인프라가 취약하여 충전소를 찾는 데 어려움이 있다. 따라서 차량 내에 48V 메인배터리를 기본 탑재하고 복수 개의 교환형 배터리를 추가로 탑재하는 방식이 검토되고 있다 [2]. 충전소가 있는 경우에는 OBC를 통해 기본 탑재된 메인배터리를 충전하고, 충전소가 없는 경우 배터리 교환 스테이션에서 교환형 배터리를 교체할 수 있다. 이 시스템은 기본 탑재된 메인배터리 외 추가적인 교환형 배터리를 탑재할 수 있으므로 주행거리를 늘릴 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이 시스템을 적용하기 위

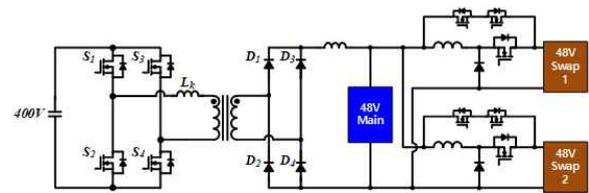


그림 2. 통합 전 기존 회로

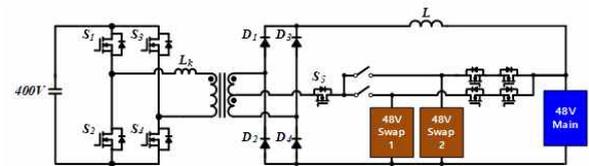


그림 3. 제안하는 OBC, SBDC 통합형 토폴로지

해서는 그림 1(a)와 같이 기존에 탑재되어 있던 OBC 외에 교환형 배터리와 메인배터리와의 연계를 위해 복수 대의 SBDC 회로를 추가하여야 하므로 저전압 배터리 자동차 시장에서 가장 중요한 가격 및 부피가 증가하는 문제가 있다. 본 논문에서는 그림1(b)와 같이 기존의 OBC와 SBDC의 회로를 공통으로 사용한 OBC/SBDC 통합 시스템 제안한다. 제안하는 통합형 토폴로지는 기존의 회로에 비해 소자 수가 줄어들어 가격 및 부피 측면에서 유리하다.

### 2. 제안하는 OBC, SBDC 통합형 토폴로지

본 논문에서는 통합형 토폴로지 설명을 위해 OBC단은 PFC를 제외한 DC-DC부만 표기한다. 그림 2는 교환형 배터리가 적용된 48V EV의 기존 회로이다. OBC단은 PSFB 컨버터로 구성되어 있으며, SBDC단은 각 교환형 배터리마다 한 대의 Buck 컨버터와 바이패스 회로로 구성되어 있다. 주행거리 증대를 위하여 복수 개의 교환형 배터리를 부착할 경우 Buck 컨버터 회로와 바이패스회로가 추가되므로 시스템 가격 및 부피가 증가하게 된다. 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 그림 3의 OBC, SBDC가 통합된 통합형 토폴로지를 제안한다. 제안하는 회로는 PSFB 컨버터의 2차측 다이오드 및 필터인덕터와 Buck 컨버터의 다이오드 및 필터인덕터를 공통으로 사용하여 SBDC의 다이오드 및 인덕터를 제거할 수 있다. 따라서 기존 OBC 회로에서 SBDC 추가를 위해 Buck 스위치 소자 한 개만 추가하면 되므로 가격 및 부피를 현저히 줄일 수 있다. 또한 복수

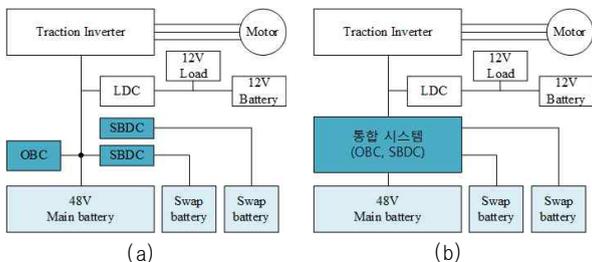


그림 1. 교환형 배터리가 적용된 48V EV 시스템 구조  
 (a)기존 시스템, (b)OBC, SBDC 통합 시스템

개의 교환형 배터리가 추가되는 경우에도 한 개의 릴레이 및 바이패스 회로만 추가되므로 기존 회로보다 가격 및 부피를 줄일 수 있다.

### 3. 실험결과

제안하는 OBC/SBDC 통합형 컨버터의 동작 및 성능 검증을 위하여 그림 4와 같이 3.3kW급 OBC 및 2kW급 SBDC가 통합된 시작품을 제작하였으며, 그림 5와 같이 배터리 환경 구성하여 실험 진행하였다. 그림 6(a)는 OBC 동작시 링크전압 400V 메인배터리 전압 30V, 2kW상황에서의 실험 결과이며, 스위치가 ZVS를 성취하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(b)는 링크전압 400V, 메인배터리 전압 48V, 3.3kW상황에서의 실험 결과를 나타내며 마찬가지로 스위치가 ZVS하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(c)는 SBDC 동작시 교환형 배터리 전압 52V, 메인배터리 전압 30V일 때의 스위치, 다이오드 전압 및 출력 인덕터 전류파형이며, 그림 6(d)는 메인배터리 전압 48V 때의 실험 결과이다. 그림 6(e)는 OBC 동작 종료 후 교환형 배터리 1로 메인배터리를 충전하고 두 전위가 같아졌을 때 바이패스 동작을 하고, 이후 교환형 배터리2로 병렬 구성된 메인배터리와 교환형 배터리1을 충전하는 전체 동작 시퀀스 실험 결과이다. 그림 7(a),(b)는 각각 메인 배터리 전압별 OBC 및 SBDC 측정 효율이며, 각각 최고효율 95.26%, 98.5%를 달성하였다.

### 4. 결론

본 논문에서는 48V 배터리 전기자동차의 교환형 배터리 적용을 위한 새로운 통합형 시스템을 제안하였다. 제안하는 통합형 토폴로지는 위상천이 폴브릿지 컨버터(OBC)의 2차측의 다이오드 및 필터 인덕터를 벡 컨버터(SBDC)와 공동으로 사용함으로써 소자 수를 줄여 가격 및 부피를 저감할 수 있다. 배터리 3.3kW OBC 및 2kW SBDC 통합 시작품을 통해 동작을 검증하였고, OBC 최고효율 95.26%, SBDC 최고효율 98.5%를 달성하였다.

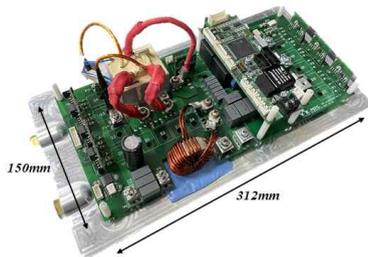


그림 4 OBC, SBDC 통합 회로 시작품



그림 5. 실험 환경

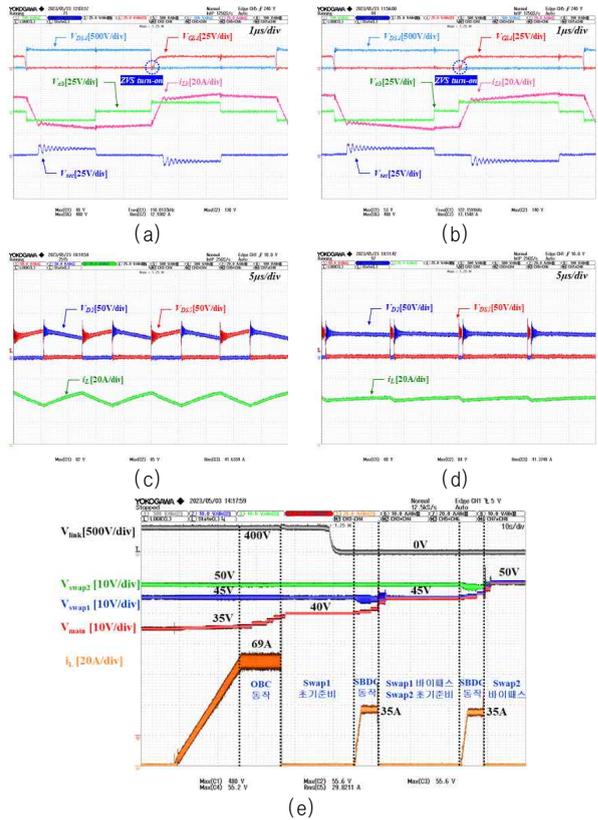


그림 6. 실험 파형 (a) OBC( $V_{main}=30V$ , 2kW), (b) OBC ( $V_{main}=48V$ , 2kW), (c) SBDC( $V_{main}=30V$ , 1.2kW), (d) SBDC( $V_{main}=48V$ , 2kW), (e)OBC, SBDC 전체 동작 시퀀스

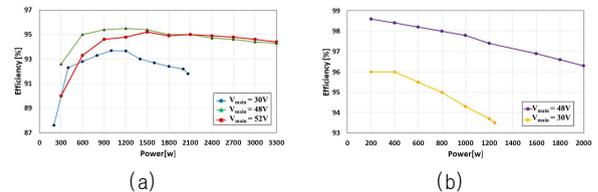


그림 7. 메인 배터리 전압 별 부하에 따른 측정 효율 (a) OBC 동작 모드 (b) SBDC 동작 모드

이 논문은 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 LINC 3.0 사업의 지원을 받아 수행된 연구임

### 참고 문헌

- [1] Das, S., Sasidharan, C., Ray, A. (2020). Charging India's Two- and Three-Wheeler Transport. New Delhi: Alliance for an Energy Efficient Economy.
- [2] J. V. Barreras et al., "Evaluation of a Novel BEV Concept Based on Fixed and Swappable Li-Ion Battery Packs," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 52, no. 6, pp. 5073-5085, Nov.-Dec. 2016.
- [3] <https://www.exicom.in/swap-system.html>
- [4] <https://timesofindia.indiatimes.com/auto/electric-bikes/sun-mobility-launches-new-swapx-station-and-s2-1-battery-pack-aims-to-power-1-million-evs-by-2025/articleshow/96970216.cms>