

# OBC 3병렬 시 입력단 PFC컨버터 토폴로지 비교분석

주학림<sup>1</sup>, 목형수<sup>†</sup>,최성호<sup>2</sup>  
 건국대학교, 건국대학교<sup>†</sup>, 브이씨텍<sup>2</sup>

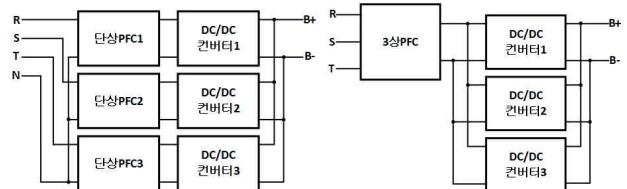
## Comparison of PFC Converter Topology for Three Parallel Operation Onboard Charger

Helin Zhu<sup>1</sup>, HyungSoo Mok<sup>†</sup>, Sungho Choi<sup>2</sup>  
 KONKUK University<sup>1</sup>, KONKUK University<sup>†</sup>, VCtech<sup>2</sup>

### ABSTRACT

본 논문은 전기차량용 Onboard Charger(OBC)의 3병렬 운전 시 3개의 단상 PFC와 3상 PFC 두가지 입력단 PFC 토폴로지에 대하여 비교 및 분석을 진행하였다. 9.9kW급 OBC에서는 입력단 전원을 3상 전원으로 사용하여야 하기 때문에 PFC단에는 단상 PFC 3개를 모듈화하여 병렬로 사용할 수도 있고 3상 PFC를 하나로 구성할 수 있다. 각 토폴로지 방식에서 인덕턴스 입력전류리플, DC단 커패시터 전류리플 등 면에서 이 두가지 구성방식에 대하여 비교분석을 진행하였다.

DC/DC컨버터가 3병렬로 구성된 9.9kW급 OBC이다. 앞단 3상 PFC 토폴로지는 논문<sup>[4]</sup>에서 소개한 일반적인 3상 PFC 토폴로지 방식이다.



(a) 3개의 단상PFC 구성방식 (b) 하나의3상 PFC구성방식  
 1 3병렬 OBC의 두가지 구성방식

Fig. 1 Two different configurations of 3 OBC parallel operation

### 1. 서론

전기차량용 OBC(On-Board Charger)는 차량에 탑재한 배터리 충전시스템으로서 입력전류의 품질을 제어하는 AC/DC 컨버터인 PFC(Power Factor Correction)와 출력전류 및 전압을 제어하는 DC/DC 컨버터를 포함한다<sup>[1]</sup>. 전기자동차의 배터리 용량이 갈수록 증가하고 전기자동차 보급, 사용률이 증가함에 따라 완속충전 속도에 대한 요구가 높아지고 있다<sup>[2]</sup>. 현재는 6.6kW급 완속충전이 보편화되고 있고 9.9kW급 OBC개발도 현재 이루어지고 있는 상황이다. 이에 대하여 차량용 OBC 공급 업체에 있어서는 기존의 3.3kW급과 6.6kW급 OBC의 개발 중 어느 쪽에 중심을 둘지 고민에 대한 대안으로 기존의 3.3kW급을 모듈화하여 병렬운전하는 방법으로 6.6kW급 OBC 시장수요에 대응 할 수 있다<sup>[3]</sup>. 하지만 한 단계 높은 9.9kW급 OBC를 설계해야 할 시 입력 단 PFC 컨버터의 토폴로지설계는 3상 전원을 대상으로 하여야 한다. 따라서 3상PFC컨버터를 사용하거나<sup>[4]</sup> 3개의 단상 PFC컨버터를 사용하는 두가지 방안이 존재하게 된다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 3.3kW급 OBC를 3병렬하여 9.9kW급 OBC를 구성할 시 앞단 PFC 컨버터의 두가지 방식에 대해 시뮬레이션을 진행하여 비교하였다.

논문<sup>[5]</sup>에서는 높은 효율의 3.5kW급 단상 OBC 3대를 병렬로 운전하여 비교적 높은 효율의 10.5kW급 OBC를 제작하고 테스트하였다. 이러한 방식의 장점은 부하에 대한 최대효율 운전이 용이하다는데 있다. 낮은 부하일 시 3개의 OBC를 동시에 저부하상태로 운전할 수도 있을 뿐만 아니라 그중 한 개 혹은 두 개의 OBC를 끄고 운전할 수도 있어 컨버터 상태에 따라 효율적인 운전이 가능하다. 여기에 전체 OBC구조가 모듈화로 되어있기 때문에 제품의 표준화와 양산화에 유리하다는 장점도 있다. 하지만 단점으로 3상 전원이 중성점을 제공하지 않을 경우 응용이 어렵다는 점과 3상 PFC 방식과 비교했을 때 PFC단 부분에 더 많은 소자가 들어간다는 단점이 존재한다. 논문<sup>[4]</sup>에서는 3상PFC를 사용한 11kW급 OBC에 대하여 소개하였다. 뒷단은 하나의 절연형 DC/DC컨버터를 사용하였지만 97%의 효율을 보여주었다. 표1은 그림1(a)방식과 (b)방식에서 PFC부분에 들어가는 소자개수를 비교하였다.

### 2. OBC 3병렬운전 구성

그림 1은 3상 전원을 입력으로하는 PFC의 두가지 구성방식을 나타낸다. (a)는 앞단 단상PFC, 뒷단 절연형 DC/DC컨버터로 구성된 3.3kW OBC 모듈 3개를 3병렬로 연결된 9.9kW OBC이다. PFC와 DC/DC컨버터는 논문<sup>[3]</sup>에서 소개한 인터리브드 PFC와 Phase-Shifted Full Bridge방식의 DC/DC방식을 사용한다. (b)는 앞단에 하나의 3상 PFC, 뒷단에 3개의 절연형

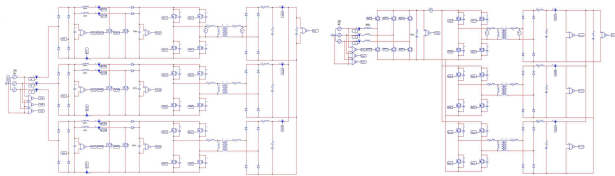
표 1 두가지 PFC방식에서의 소자수 비교

	인덕터	스위치소자	다이오드	커패시터뱅크
3상PFC 1	3	6	0	1
단상PFC×3	6	6	18	3

### 2.1 시뮬레이션 구성

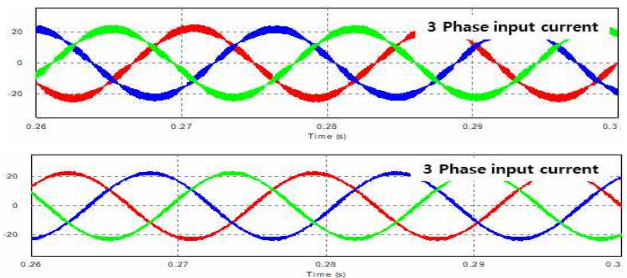
두가지 방식이 구체적으로 어떠한 차이점을 보이는지 확인

하기 위하여 시뮬레이션을 구성하여 분석을 진행하였다. PSIM을 이용하여 그림1의 (a)상황과 (b)상황을 모두 구성하여 3병렬운전을 실행하였다. 병렬운전방식은 논문<sup>[3]</sup>에서 제시한 Average Current Sharing(ACS)방식을 채용하였다. 입력전압은 단상일 시 220V, 3상일 시 380V로 하고 부하는 배터리를 모사한 커패시티브 부하로서 두 가지 상황을 모두 Constant Current(CC)충전단계를 모사하도록 하였고 9.9kW 출력으로 동작하도록 하였다. 그림 2는 두 가지 방식에서의 PSIM 시뮬레이션 구성을 나타내었다.

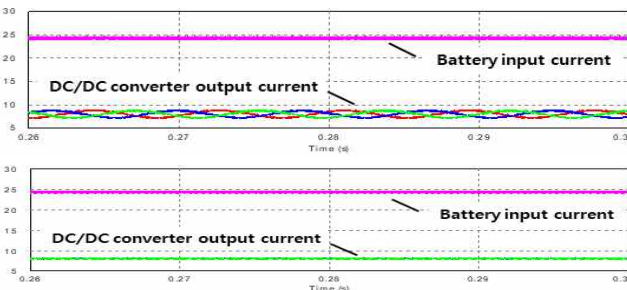


(a) 3개의 단상PFC 구성방식 (b) 하나의3상 PFC구성방식  
2 PSIM으로 구성된 두가지 3병렬 OBC 시뮬레이션

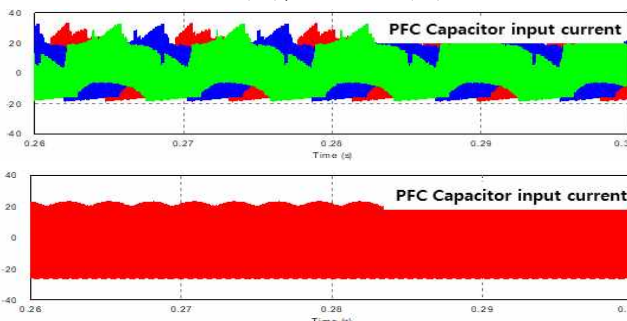
Fig. 2 Simulations of Two different configurations of 3 OBC parallel operation using PSIM



(a) 3상 입력전류 비교: 단상 PFC방식(상), 3상 PFC방식(하)



(b) 각 컨버터 출력전류 및 배터리 입력전류 비교: 단상 PFC방식(상), 3상 PFC방식(하)



(c) PFC커패시터 입력전류 비교: 단상 PFC방식(상), 3상 PFC방식(하)  
그림 3 2가지 방식의 입력전류, 출력전류 및 PFC단 커패시터 리플전류 비교

Fig.3 Comparison of grid current, output current and PFC capacitor ripple current between two types

그림 3은 두가지 방식을 9.9kW출력으로 병렬운전 동작 시 계통측 입력전류, DC/DC컨버터측 출력전류, 및 PFC의 DC단 커패시터 전류 파형을 비교하였다. 입력전류 측면에서 단상 PFC는 인터리브드방식을 통하여 THD를 감소시킬 수 있지만 3상 PFC THD는 인덕턴스 증가로만 THD를 감소시킬 수 있다. 출력전류 측면에서는 단상 PFC의 출력전류 저주파 리플문제는 3상구조로 인해 배터리로 입력 시 사라지게 되어 3상PFC 방식과 비슷해지게 된다. PFC커패시터 입력전류 리플 크기는 단상 PFC를 사용하였을 때보다 3상 PFC를 사용하였을 때 오히려 더 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결론

본 논문은 3.3kW급 OBC를 3병렬 운전 시 앞단 PFC컨버터의 두 가지 구성방식: 3개의 단상PFC와 하나의 3상PFC에 대해 비교하였다. 하드웨어적인 구성에서 보면 3상 PFC컨버터를 사용하면 다이오드와 커패시터 등 부품수를 줄일 수 있고 3개의 단상컨버터를 사용할 시 경부하에 대해 더욱 유연성 있게 운전할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 계통입력전류, DC/DC 컨버터 출력전류, PFC단 커패시터 전류리플에 대해 비교하였다. 입력전류측면에서는 단상PFC를 사용 시 인터리브드 구조를 통하여 계통측 전류 THD를 줄일 수 있고 DC/DC컨버터 출력전류측면에서도 3상 시스템의 원리에 의해 120Hz 전류리플 성분을 소거할 수 있다. PFC 커패시터 리플전류측면에서는 3상 PFC가 더 유리한 것을 확인할 수 있다.

이 연구는 2019년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구입니다('10080712')

### 참 고 문 헌

- [1] 이준혁, 정광순, 김호경, 홍성수, 안현식, “전기자동차 탑재형 배터리 완속 충전기의 위상천이 풀-브릿지 컨버터 제어 시스템 설계 및 구현”전기학회논문지, 65(11), 1860-1867.
- [2] Benjamin Frieske, Matthias Kloetzke, Florian Mauser, “Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System”, 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27), Nov. 2013.
- [3] 주학림, 목형수, 최성호, 박상욱, 성기학, “차량용 OBC 병렬운전 시뮬레이션 개발” 전력전자학회 학술대회 논문집, (11), 225-226.
- [4] H. Bail A. Taylor1 W. Guo1 G. Szatmari-Voicul N. Wang1 J. Patterson2 J. Kane, “Design of an 11 kW power factor correction and 10 kW ZVS DC/DC converter for a high-efficiency battery charger in electric vehicles”, IET Power Electronics, Vol. 5, No. 2, pp. 1714-1722 Nov. 2012
- [5] Gang Yang ; Eirik Draugedalen ; Torbjorn Sorsdahl ; Hui Liu ; Roar Lindseth, “Design of High Efficiency High Power Density 10.5kW Three Phase On-board-charger for Electric/hybrid Vehicles”, PCIM Europe 2016, May 2016