

# EV OBC용 다중 컨버터의 전력 밸런싱 제어기 연구

이 슬<sup>1</sup>, 이호준<sup>1</sup>, 이은수\*  
 한양대학교<sup>1</sup>

## Power Balancing Controller for Multiple Converters in EV OBC

Seul Lee<sup>1</sup>, Hojun Lee<sup>1</sup>, Eun S. Lee\*  
 Hanyang University<sup>1\*</sup>

### ABSTRACT

본 논문은 EV OBC의 용량 확장을 위해 다수의 컨버터 사용 시 발생하는 컨버터별 전력 불균등 문제를 해결할 수 있는 전력 밸런싱 제어기 구조를 제안하였다. 제안하는 제어기는 컨버터별 전력 차이 정보를 실시간으로 감지하여 PWM에 반영함으로써, 다중 컨버터의 파라미터 공차가 존재하더라도 다중 컨버터의 전력 공급이 균등하게 이루어짐을 확인하였다. 본 논문에서는 3.3kW급 LLC 컨버터 2대 혹은 3대를 병렬로 연결한 시뮬레이션을 통해 각 컨버터의 전력 공급 용량이 균등하게 제어됨을 PLECS를 통해서 검증하였다.

### 1. 서론

전 세계적으로 기후변화에 대한 관심이 높아지면서, 온실가스 배출을 비롯한 환경 오염 문제가 부각되고 있다. 이에 따라 국내에서도 다양한 탄소 저감 정책이 시행되고 있다. 특히 운송의 전기화는 에너지 절약과 온실가스 배출 저감 측면에서 많은 이점을 제공하며 큰 주목을 받고 있다. 그중에서도 전기차(Electric Vehicles, EVs)에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있으며, 전기차의 핵심 요소 중 하나인 탑재형 충전기(On Board Charger, OBC)에 대한 연구가 다양하게 진행 중이다. 일반적으로 탑재형 충전기는 AC/DC 컨버터와 DC/DC 컨버터로 구성되며, 이 DC/DC 컨버터는 넓은 출력 전압 범위를 만족시키면서 높은 효율과 전력 밀도를 충족해야 하므로 다양한 토폴로지가 적용된다. LLC 컨버터는 공진 특성을 활용해 높은 효율과 낮은 스위칭 손실을 제공하기 때문에 널리 사용된다. 그러나 단일 LLC 컨버터는 출력 전력 증가에 제약이 있어, 여러 대의 LLC 컨버터를 병렬로 연결하는 방식이 도입되고 있다. 병렬 구성을 통해 전력 부담을 분산하고 시스템 확장성을 높여 더 높은 출력과 신뢰성을 제공할 수 있다. 하지만 병렬 운영 시 모듈 간 미세한 제조 차이로 전력 불균형이 발생해 과열, 과부하 및 시스템 안정성 저하를 초래할 수 있어, 각 모듈의 출력 전류를 균등하게 제어하는 것이 중요하다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 PFM(Pulse Frequency Modulation, )방식과 PWM(Pulse Width Modulation) 방식을 활용한 제어 방식을 적용하여 전력 불균형을 개선하였다.<sup>[1]-[4]</sup>

### 2. 제안하는 다중 LLC 컨버터 전력 균등 방법

제안하는 다중 LLC 컨버터 전력 균등 방법은 입출력 병렬 구성을 통해 각 컨버터가 부하를 고르게 분담하도록 설계하였다. 이를 위해 PFM을 통해 주파수를 조정하여 각 출력 전압을 제어하고, PWM을 통해 각 컨버터의 듀티비를 조절하여 각 컨버터의 출력 전력을 균등하게 제어하였다.

#### 2.1 제안하는 다중 LLC 컨버터 회로 구성

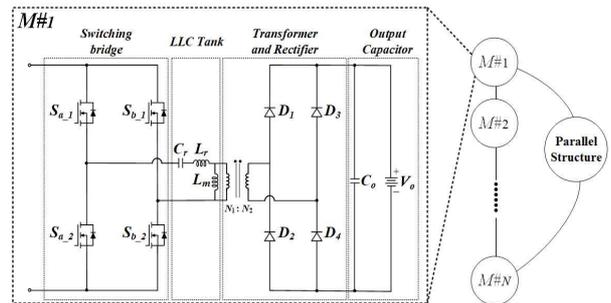


그림 1 제안하는 다중 LLC 컨버터 구조  
 Fig. 1 proposed multi-LLC converter

본 논문은 풀 브리지 LLC 컨버터를 사용하였으며, 다중 LLC 컨버터 병렬 구성을 위해 그림 1과 같이 나타내었다.

#### 2.2 제안하는 다중 LLC 컨버터 제어 설계

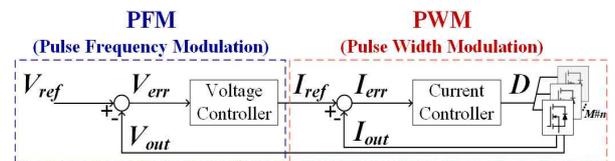


그림 2 제안하는 전력 밸런싱 제어기  
 Fig. 2 Proposed Power Balancing Controller

LLC 컨버터의 특성상 주로 PFM에 의존하여 출력 전압 제어와 전력 균형을 동시에 처리할 수 있지만, 부하 변화에 신속히 대응하지 못해 전력 불균형을 일으켜 시스템의 성능을 저하시킨다. 이를 위해 본 논문은 그림 2와 같이 PFM과 PWM을 결합한 새로운 제어 방식을 제안한다. 이렇게 기존 PFM에 PWM을 추가하여 전류 제어를 할 경우 각 스위칭 소자의 turn-on 시간을 조절함으로써 모듈 간 전력 분배를 균등하게

할 수 있다. 이는 가변 부하 조건에서도 전력 균형을 이룰 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 수행

#### 3.1 시뮬레이션 구성 환경

본 논문에서 제시한 제어기의 타당성을 검증하기 위하여 그림 3과 같이 구성하였으며 2대의 LLC 컨버터를 병렬로 제어하는 시나리오를 가정하였다. 초반에는 전력 밸런싱 제어기를 적용하지 않아 각 컨버터 간 전력 불균형이 일어나다  $t=0.05s$ 에서 제안하는 알고리즘을 투입하여 제안한 제어기의 유효성을 검증하였다.

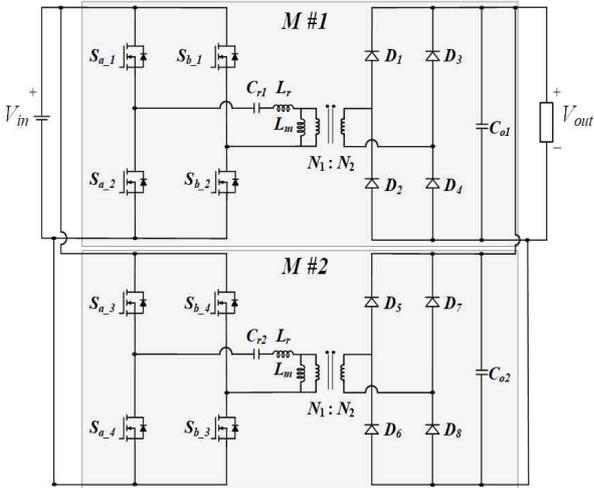


그림 3 다중 컨버터 전력 균등을 위한 시뮬레이션 환경  
Fig. 3 Simulation setup for power balancing of multiple converters

해당 시나리오의 시뮬레이션 구현을 위한 파라미터는 표 1의 값을 활용하였으며 시뮬레이션 툴은 PLECS를 사용하였다.

표 1 시뮬레이션을 위한 파라미터  
Table 1 Per unit values of the system parameters

Parameters	Values	Unit
$V_{in}$	400	[V]
$V_{out}$	400	[V]
$P_{out}$	3.3	[kW]
$L_r$	20	[ $\mu$ H]
$L_m$	80	[ $\mu$ H]
$C_{r1}, C_{r2}$	90	[nF]
$C_{o1}, C_{o2}$	32.2	[ $\mu$ H]

#### 3.2 시뮬레이션 결과

그림 4와 같이 전력 균등 제어 알고리즘을 적용하여 출력 간 차이를 최소화하였고, 각 모듈 간 전력이 균등하게 분배되었다. 그 결과, 최종 출력이 3.3kW에 도달했음을 확인하였다.

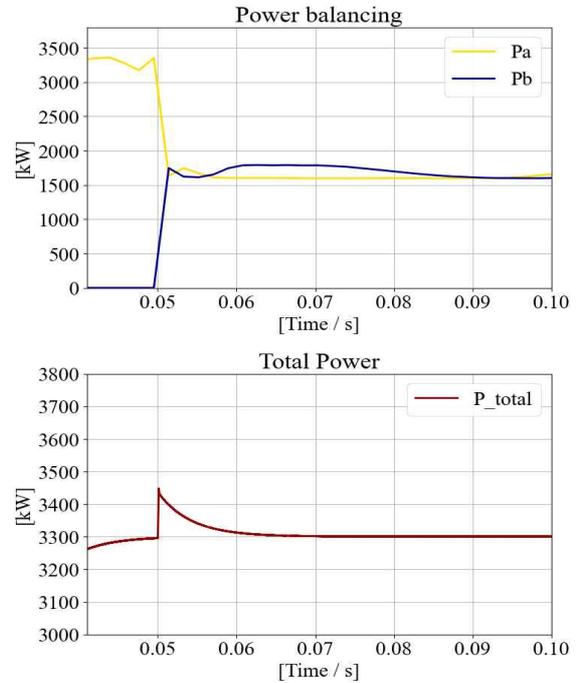


그림 4 시뮬레이션을 통한 전력 균등 결과  
Fig. 4 Simulation Results of Power Balancing Control

### 4. 결론

본 논문에서는 다중 LLC 컨버터의 전력 균등화를 위한 새로운 제어 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 입력력 병렬 구성을 통해 각 컨버터가 부하를 고르게 분담할 수 있도록 설계되었으며, PFM을 활용한 주파수 조정으로 각 컨버터의 출력 전압을 제어하였다. 또한, PWM을 이용해 듀티비를 조절함으로써 각 컨버터 간 출력 전력이 균등하게 분배되도록 하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 전력 균등화 기법이 컨버터 간의 전력 불균형을 효과적으로 해소하며, 시스템의 안정성과 효율성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 본 제어 방법은 고효율 전력 변환 시스템에 적용 가능하며, 향후 다양한 고효율 병렬 컨버터 시스템에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고 문헌

- [1] C. Zhang, B. Duan, J. Song, Q. Su, and C. Zhang, "A modified active disturbance rejection control strategy for current balance in parallel LLC resonant converter," 2022 34th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), vol. 34, no. 1, pp. 3077-3082, June 2022.
- [2] X. Wang, B. Liu, L. Jiang, and Z. Zhan, "Current sharing analysis for novel paralleled CLLC converters," IEEE Access, vol. 9, pp. 141307-141320, Oct. 2021.
- [3] J. Kim, H. Park, and S. Lee, "Design and parallel operation of a high-speed switching LLC converter with SiC MOSFET for 30kW EV fast charger with wide voltage range," Journal of Power Electronics, vol. 20, no. 2, pp. 234-246, Mar. 2023.
- [4] H.-W. Choi and K.-B. Lee, "Parallel control method of a modular DC/DC converter for electric vehicle chargers," Journal of Korean Institute of Electrical and Electronic Engineering, vol. 25, no. 1, pp. 101-108, Mar. 2021.