

# 드롭제어와 병렬통신 제어를 결합한 벡 컨버터의 하이브리드 병렬운전 제어방법

김기두\*, 류지수\*, 김지수\*\*, 임승범\*\*\*, 반충환\*\*\*

주식회사 이온

## Hybrid Parallel Operation Control Method of Buck Converter Combining Droop Control and Parallel Communication Control

Ki-du Kim\*, Ji-su Ryu\*, Ji-su Kim\*\*, Seung-Beom Lim\*\*\*, Chung-hwan Ban\*\*\*

EON Co, Ltd

### ABSTRACT

The parallel control method of the buck converter is broadly classified into two types depending on the presence or absence of communication lines between modules. First, the communication control method enables excellent current sharing but it is unreliable. Second, the parallel operation method based on droop control without a communication line can perform parallel operation by measuring only the output voltage and current. In this paper, we propose a hybrid parallel operation control method of the droop communication control method that can compensate for the shortcomings of the droop control and communication control methods in order to minimize the current imbalance connected in parallel.

### 1. 서론

최근 다수의 전력변환장치를 병렬로 연결하여 대용량 장치를 구축하는 것에 관심이 높아지고 있다. 시스템을 다수의 병렬 컨버터로 구성할 경우, 전력변환장치들 간의 오차로 인한 전류 불균형 현상 나타나게 되어 정확한 부하 분담이 요구되며 이와 같은 전력변환 시스템의 병렬 구성과 제어 방법에 대하여 통신선 유무에 따라 나누어 살펴보면 아래와 같다.

첫번째 수하 제어방법은 통신선이 필요하지 않으므로 운전 간에 통신 문제로 인한 위험성이 없고 시스템 구성이 간편하다는 장점이 있다. 하지만 병렬 운전을 위한 부하분담 성능과 출력 전압의 품질 사이에는 트레이드 오프 (Trade-off)가 존재한다는 단점이 있다. 두 번째는 시스템 간에 통신선을 필요로 하는 방식 중 대표적으로 사용되는 주종 (Master-slave) 제어방법이 있다. 수하 제어방법에 비해 부하 분담 성능이 우수하나 마스터(Master)에 고장이 발생하게 되면 안정적인 전압, 전류를 공급할 수 없다는 안정성과 중복성 문제가 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 평균전류 분담방식(Average Current Sharing)과 V-I 드롭제어방식을 결합한 하이브리드 병렬운전 제어방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해서 성능을 검증한다.

### 2. 본론

### 2.1 시스템 구성

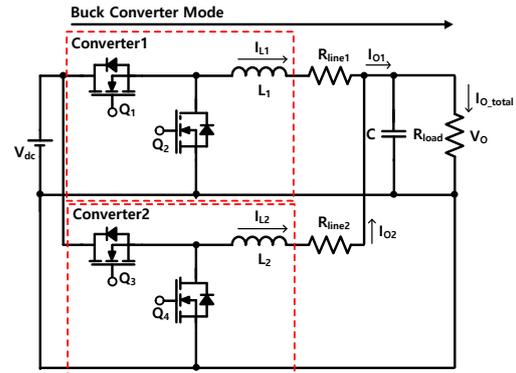


그림1 벡 컨버터 병렬 구성  
Fig.1 configuration of buck converter in parallel

그림1은 병렬 벡 컨버터 시스템(Converter1, Converter2)의 구성을 보여준다. 이 시스템은 입력전압( $V_{dc}$ )와 벡 컨버터 2대, 라인 임피던스( $R_{line1}$ ,  $R_{line2}$ )로 구성된다. 출력전류( $I_{o1}$ ,  $I_{o2}$ ), 전체 부하전류( $I_{o,total}$ ), 출력전압( $V_o$ )으로 나타낼 수 있다.

### 2.2 평균전류 분담방식

그림2는 CAN통신을 이용한 평균전류 분담방식을 나타낸 전체 시스템의 블록 다이어그램이다. 각 벡 컨버터는 독립적인 제어를 포함하고 있으며 출력전류 정보는 CAN BUS를 통하여 실시간 모니터링을 하고 있다. 병렬운전 시 연결된 모듈의 수와 연결된 모듈의 전류 값을 실시간으로 모니터링하여 이때 각 모듈의 전류의 합을 모듈의 수만큼 나누어 평균전류 레퍼런스를 갖는 구조로 정확한 부하 분담을 수행한다.

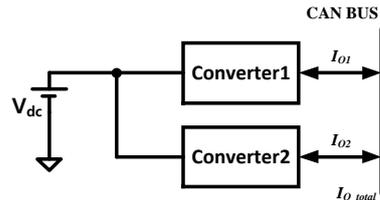


그림2 CAN통신을 활용한 평균전류 분담방식 구성  
Fig.2 A configuration of average current sharing method using CAN communication

### 2.3 V-I 드롭 제거기

드롭 제어의 경우 출력 전압지령이 출력 전류에 의해 얻어진다. 이렇게 출력 전류를 기반으로 출력 전압을 제어하기 때문에 V-I 드롭 제어라고 불린다. 이때 전압 제어기의 지령치는 아래 식과 같이 계산된다.

$$V_o^* = V_{o.ref} - I_o \cdot R_D \quad (1)$$

여기서  $V_{ref}$ 는 공칭전압(출력 전압),  $I_{o,n}$ 는 각 컨버터 출력전류이며  $R_D$ 는 가상 출력 임피던스(드롭 계수)이다.

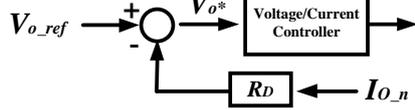


그림3 V-I 드롭 제어  
Fig.1 V-I droop control method

### 2.4 제안하는 하이브리드 병렬운전 제어기 구조

그림4는 제안하는 하이브리드 제어기를 나타낸다. 각 벽 컨버터의 출력 전압지령은 동일한 값을 가진다. 전압제어기는 출력전류를 기반으로 출력전압을 제어하는 V-I 드롭 제어기와 비례적분제어기로 구성되었고 전류제어기는 CAN통신을 기반으로 한 평균전류 분담방식과 비례적분제어기로 구성되었다.

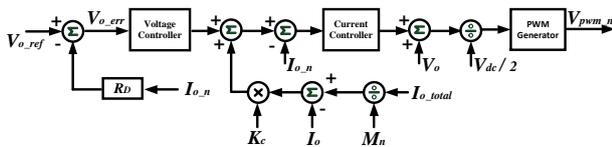


그림4 제안하는 하이브리드 병렬운전 제어기 구조  
Fig.1 structure of the proposed hybrid parallel operation controller.

### 2.5 시뮬레이션 결과

시스템의 파라미터는 표1과 같다. 여기서  $R_{line1}$ 은 벽 컨버터 1의 인덕터와 부하사이의 라인 임피던스 구현을 위해 임의로 삽입한 저항 값이며,  $R_{line2}$ 은 벽 컨버터 2의 인덕터와 부하사이에 있는 도선의 저항 값을 나타낸다.

표 1 벽 컨버터 회로 파라미터

Table 1 Parameters of the buck converter

파라미터	값	파라미터	값
$V_{dc}$	750[V]	Communication time	500[ $\mu$ S]
$L_1/L_2$	1.6[mH]	C	20000[ $\mu$ F]
$R_{line2}$	200[m $\Omega$ ]	$R_{line1}$	200[ $\mu$ $\Omega$ ]
$I_{total}$	166.6[A]	$R_{load}$	3[ $\Omega$ ]
$I_{o1}/I_{o2}$	83.3[A]	$V_o$	500[V]

제안하는 하이브리드 병렬운전 제어방법을 사용하여 시뮬레이션한 결과를 그림 5~7에 나타내었다. 그림7은 제안하는 제어기의 성능을 검증하기 위해 1[S]에서 제어기를 온하고 1.5[S]에 CAN통신을 끊어 통신이 끊긴 상황에서도 안정적인 출력전류 불균형이 발생되지 않는 것을 확인하였다.

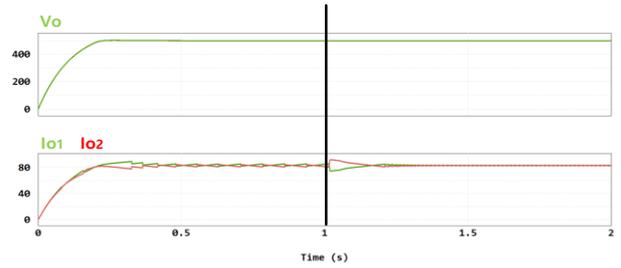


그림5 V-I드롭 병렬제어의 시뮬레이션 결과  
Fig.5 A simulation result of V-I droop parallel control simulation.

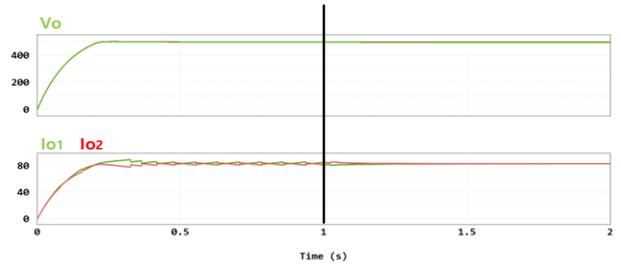


그림6 평균전류 분담방식의 시뮬레이션 결과  
Fig.6 A simulation result of Average current sharing parallel control simulation.

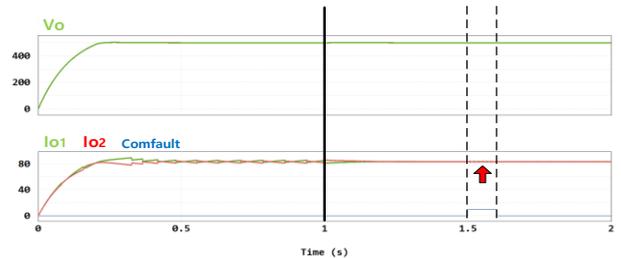


그림7 제안하는 하이브리드 병렬운전 제어의 시뮬레이션 결과  
Fig.7 A simulation results of the proposed hybrid parallel operation control

## 3. 결론

본 논문은 벽 컨버터의 드롭제어와 병렬통신 제어를 결합한 하이브리드 병렬운전 방법을 제안하였다. 병렬운전 시 통신제어의 신뢰성 문제와 수하물제어의 느린 제어 응답속도의 단점을 개선하기 위해 V-I 드롭제어와 평균전류 분담방식을 결합한 하이브리드 병렬운전 제어의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

본 연구는 2021년도 산업통상자원부(MOTIE) 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원(2001485)과 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No.2022202080050)의 지원을 받아 수행된 연구결과임

## 참고 문헌

[1] H. Han, X. Hou, J. Yang, J. Wu, M. Su and J. M. Guerrero, "Review of Power Sharing Control Strategies for Islanding Operation of AC Microgrids," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 1, pp. 200-215, Jan. 2016.