

# 분산제어를 이용한 고압인버터 시스템

장한근, 김효진, 전재현, 윤홍민, 나승호  
LS산전 중앙연구소

## Medium Voltage Inverter System Using Decentralized Control

H.K.Jang, H.J.Kim, J.H.Jeon, H.M.Yun, S.H.Na  
Central R&D Center LS Industrial System Co.,Ltd

### ABSTRACT

H-Bridge Multi-Level (HBML) 고압인버터는 저압의 반도체 소자를 사용하는 단상 H-Bridge 인버터로 구성된 셀을 직렬로 연결함으로써 정현파에 가까운 고전압을 얻을 수 있고, 입·출력 고조파가 낮아서 필터가 필요 없는 토폴로지 산업 분야에서 사용이 확대되고 있다. 본 논문은 HBML 고압인버터의 마스터 제어기와 셀 제어기의 통신 하드웨어를 병렬로 구성하여서 하나의 전압지령 값과 Angle 값으로 셀에서 PWM을 구현 할 수 있는 분산제어 방식을 제안한다. 이 방식에서 셀 제어기가 전압, 전류, 주파수, 보호기능, 통신감시 정보 등 셀 제어의 대부분을 담당함으로써 마스터 제어기의 부담을 줄이고, 따라서 신호선의 개수를 줄일 수 있다. 또 통신하드웨어의 종단에 마스터 제어기를 연결만 하면 마스터제어기의 2중화가 가능하므로 사용하고 있던 마스터 제어기의 고장 발생 시에 대체하여 사용할 수 있으므로 시스템의 안정성 향상에 도움을 준다. 선간전압 33레벨로 구성된 HBML 고압인버터 시험을 통해 제안된 방식의 타당성과 신뢰성을 검증한다.

### 1. 서론

최근 교토의정서등 에너지 절약에 관심이 증대되면서 발전 설비, 수처리등 고압대용량 인버터를 필요로 하는 산업분야가 늘어나고 있다. 고압대용량에 적합한 멀티레벨 인버터는 Diode Clamped, Flying Capacitor, H-Bridge가 대표적인 토폴로지이다.<sup>[1]</sup> 그 중에서 많이 사용되는 H-Bridge 방식은 각 상이 직렬 접속된 여러 개의 단상 H-Bridge 인버터 셀로 구성된다. 각 셀은 다중 펄스 변압기를 사용하여 독립된 전원을 받는 구조이며, 셀 인버터를 직렬 연결함으로써 셀의 층수에 따라서 출력전압 레벨의 수가 증가하여 정현파에 가까운 고전압 파형을 얻을 수 있다.<sup>[2]</sup> 이러한 출력 전압의 형태는 전압 반사의 영향이 적게 되고 출력 필터 없이 사용 가능하게 된다. 전압의 레벨이 증가함에 따라 같은 스위칭 주파수에서 출력전압의 고조파 특성이 비례적으로 감소하게 된다.<sup>[2][3]</sup>

고압인버터의 토폴로지를 HBML 인버터로 구성할 경우 제어기는 집중제어와 분산제어 방식으로 구성 할 수 있다. 집중 제어 방식의 각 인버터 셀에는 게이트부분과 일부 보호회로만 내장하고 모든 제어는 마스터 제어기에서 수행한다. 분산제어 방식은 각각의 셀마다 제어기를 가지며 이 제어기는 게이트 신호를 만들고 셀 단위의 보호동작을 한다. 셀과 마스터 제어기

사이에는 전압·전류 기준 값, 고장신호 등의 데이터 교환이 이루어지므로 마스터제어기의 부담이 줄고 셀 단위 보호동작이 이루어져 셀의 모듈화가 용이하고 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다. 본 논문은 HBML 인버터로 구성하며 분산제어 방식을 적용한다.

### 2. 단일 전압지령을 사용한 분산제어

#### 2.1 HBML고압인버터의 구성

실험에 사용한 고압인버터는 H-Bridge 단상인버터의 출력을 직렬 접속하는 Cascade 방식을 사용하고 있으며 독립된 단상 인버터 마다 고유의 제어기를 내장하여 셀을 제어함으로 마스터 제어기의 부담을 줄임과 동시에 통신의 부담을 감소 시켜서 시스템의 성능 및 신뢰성을 확보 할 수 있도록 하였다.

그림 1은 Cascade 형태로 구성된 HBML 고압인버터의 제어기 구성을 나타낸다. 이 제어기는 크게 마스터 제어기, 셀 제어기, 운전지령 및 디스플레이, 파워부로 구성되어 진다.

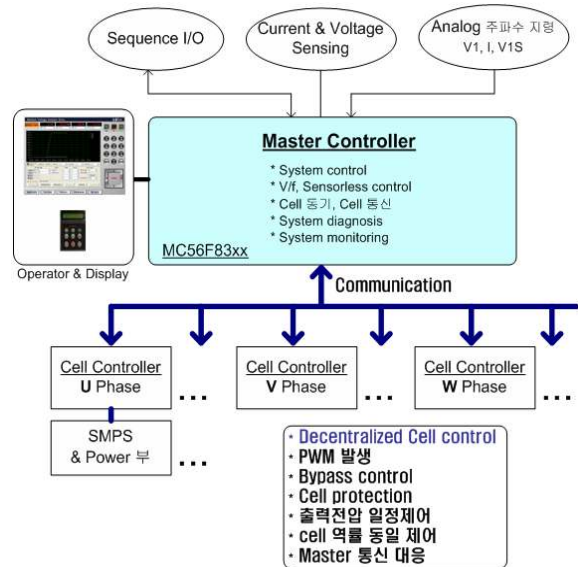


그림 1 HBML 고압인버터의 구성도

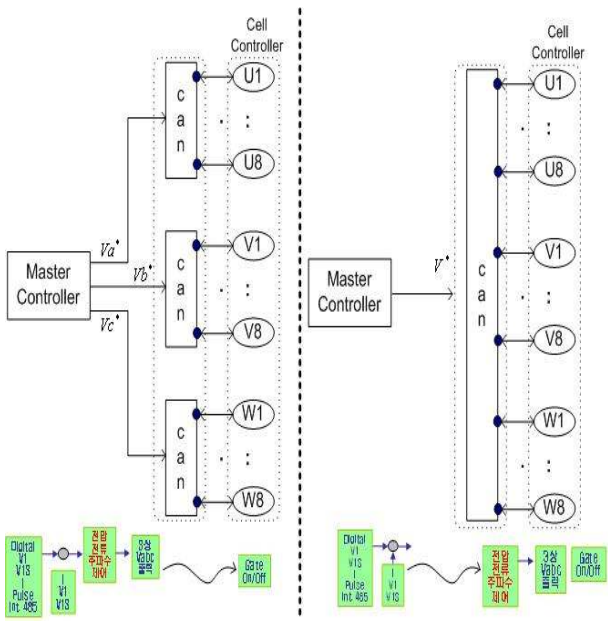
Fig. 1 Medium Voltage Inverter Controller Configuration

마스터제어기는 전체적인 시스템 컨트롤과 보호동작, V/F,

Sensorless 제어, 셀과의 통신 등의 역할을 한다. 마스터 제어기의 CPU는 MC56F83xx를 사용 하였고, 시퀀스 I/O, 전압 및 전류 검출, 아날로그 주파수 지령, 운전 및 디스플레이 부분이 마스터 제어기의 주변으로 구성 되어 있다. 각각의 셀이 제어기를 가지고 있는 분산제어를 함으로써 통신선이 간결해지고 회로가 간단해진다. 셀 제어기는 마스터 제어기와 병렬 통신으로 데이터를 주고 받으며 모든 셀은 마스터의 동기 지령에 따라서 동기가 이루어진다. 셀 제어기는 마스터 제어기로부터 angle 과 전압지령 값을 받아서 PWM 연산을 하며, 범용 인버터에서 가지고 있는 대부분의 보호기능을 가지고 있다. 또 cell bypass 기능을 가지고 있어서 셀 자체의 보호 동작이나 통신의 문제 등으로 운전이 불가능 하게 되면 bypass 된다. 그 외에도 셀 제어기는 출력전압 일정제어, 셀 역률 동일제어 등의 기능을 자체적으로 수행 한다. 셀은 고유의 번호를 가지고 있어서 어떤 셀의 통신이 안 되는지 확인 가능하다. 각 층 각 셀의 번호를 맞게 설정 하였는지 확인 가능하여 출력전압이 잘못 나가는 경우가 없다.

## 2.2 제안된 단일 전압지령을 사용한 분산제어

집중제어 방식은 각 인버터의 셀에 게이트 회로와 보호회로만 내장되어 있어서 회로가 복잡하고 신호선이 많은 단점이 있다. 그리고 지금까지 사용 되어진 분산제어에서는 그림2의 (a)와 같이 전압 지령치  $V_a^*$ ,  $V_b^*$ ,  $V_c^*$ 가 마스터 제어기에서 셀 제어기로 전달되는 방식이었다. 제안된 방식은 그림2의 (b)에서 처럼 통신 하드웨어와 셀의 연결은 병렬로 구성되어 있으며, 마스터제어기에서 셀 제어기로 Angle 값과 하나의 전압 지령치를 각각의 셀로 보낸다. 셀은 이 값들을 이용하여 자신의 셀 번호에 따라서 위상 전이되어진 PWM을 할 수 있다. 셀에서는 보호기능, 통신 감시 외에도 출력전압 동일제어, cell 역률 동일 제어 등의 기능을 수행하고 있다.



(a) 기존 방식 (b) 제안된 분산제어  
 그림 2 HBML 고압인버터의 통신 방법  
 Fig. 2 Communication Method of HBML Medium Voltage Inverter

### 2.2.1 통신 모드별 송수신 데이터

제안된 방식은 그림2 (b)에서 처럼 병렬로 구성되어 있으며, 마스터제어기에서 셀 제어기로 Angle과 하나의 전압 지령치를 각각의 셀로 보낸다. 셀은 이 값들을 이용하여 자신의 셀 번호에 따라서 위상 전이되어진 PWM을 할 수 있다.

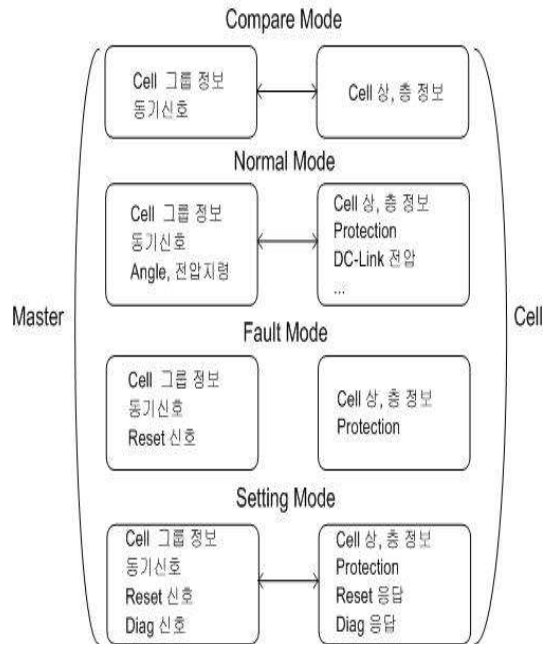


그림 3 HBML 고압인버터의 통신모드  
 Fig. 3 Communication Mode of HBML Medium Voltage Inverter

그림 3은 HBML 고압인버터의 통신 모드를 나타내고 있다. 마스터 제어기와 셀 제어기의 통신은 Compare Mode, Normal Mode, Fault Mode, Setting Mode 4가지의 모드로 구성 하였다. 모든 모드에서 마스터 제어기는 셀 그룹, 동기 신호를 보내고, 셀은 셀의 상과 층의 정보를 보낸다. 인버터의 운전이 가능한 모드인 Normal Mode에서 마스터 제어기는 셀 제어기로 Angle 값과 하나의 전압 지령치를 보내고, 셀은 dc-link전압과 전류 정보, 셀의 보호기능 동작 유무 등의 정보를 마스터로 보내게 된다. 이러한 조건에서 시스템과 셀에 폴트 정보가 없으면 운전을 할 수 있다. 운전을 하게 되면 각 셀에서는 동일 역률제어와 출력전압 일정제어도 수행 하고 있다. 이 처럼 제안된 분산제어 방식은 셀에서 대부분의 제어를 담당하고 있기 때문에 마스터제어기는 운전지령과 시스템 보호의 기능만 하게 되므로 부담을 줄이게 된다.

### 2.2.2 하드웨어의 단순화

그림 2의 (a)에서 처럼 삼상의 전압 레퍼런스를 사용하는 구성의 하드웨어는 통신량이 많아 상당 통신 하드웨어를 필요로 하기 때문에 하드웨어가 복잡하고 신호선이 많다. 이러한 점들이 고압인버터 시스템의 안전에도 문제가 될 수 있다. 제안된 방식은 셀이 전압, 전류, 주파수제어, PWM, Cell 보호기능 등 많은 부분을 담당 하고 있기 때문에 통신 데이터량이 적어서 하나의 통신 하드웨어로도 마스터 제어기와 셀 제어기의 통신이 가능하다. 이러한 점이 고압의 시스템에서 쉽게 구현 가능하고 신호선이 작기 때문에 시스템의 안정도를 높일 수 있다.

### 2.3.3 마스터제어기의 2중화

고압인버터의 경우 6600V의 대용량 시스템이므로 신뢰성이 중요하다. 본 논문에서 사용한 HBML 고압인버터는 cell Bypass 기능을 추가하여서 8층의 고압인버터라면 3~4층의 셀이 바이패스 되더라도 인버터의 운전은 가능하게 된다. 하지만 지금까지는 마스터 제어기가 서지나 다른 원인에 의해서 고장이 발생하는 경우에 대한 대책은 없었다. 제안된 방식은 그림 2의 (b) 처럼 구성되어진 통신 하드웨어의 중단에 마스터 제어기만 연결만 하여 주면 되므로 마스터제어기의 2중화가 쉽다. 마스터 제어기의 2중화는 사용하고 있는 마스터 제어기가 고장 나게 되면 같은 데이터를 가지고 있던 보조의 마스터 제어기가 주제어기 역할을 함으로써 산업분야에 설치된 고압인버터를 정지 하지 않고 운전가능 하며, 시스템의 안전성이 확보가능 하다.

## 3. 시험결과

### 3.1 시스템 구성

그림 4는 시험에 사용한 6600V 1MVA HBML 고압인버터의 사진이다. 시스템 입력측에는 각각 셀에 분리된 전원을 공급하고 전력품질을 위하여 다권선 변압기를 사용 하였다. 변압기의 1차측은 6600V이고 변압기의 출력은 480V 이다. 셀을 상당 8개씩 연결함으로써 24개로 구성되었다. 상전압 기준으로 17레벨이며 선간전압 기준으로 33레벨 이다.



그림 4 HBML 고압인버터  
Fig. 4 Medium Voltage Inverter

### 3.2 시험 파형



그림 5 HBML 고압인버터의 출력전압 파형(2kV/div)  
Fig. 5 Output Voltage Waveform of HBML Medium Voltage Inverter(2kV/div)

그림 5는 HBML 고압인버터의 출력전압 파형을 나타내고 있다. 시험실 여건에 따라 상당 6개의 셀을 사용하여 18개의 셀을 3상에 연결하였을 때, 셀 출력전압의 위상 차이에 의해서 선간 전압 기준으로 25레벨의 멀티레벨 출력전압이 구현 가능함을 나타낸다.

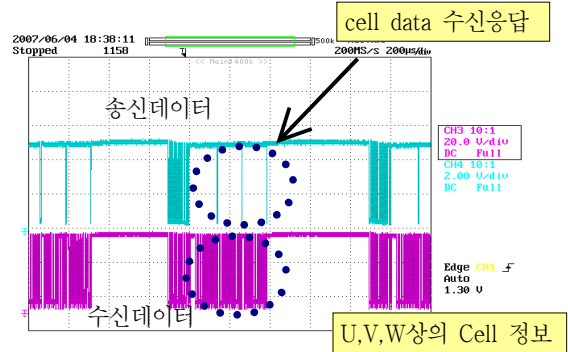


그림 6 마스터 제어기의 통신 파형  
Fig. 6 Communication Waveform of Master Controller

그림 6은 마스터 제어기의 송·수신데이터를 나타낸다. 마스터 제어기의 송신데이터는 U, V, W상의 셀 데이터를 수신하면 그에 대한 응답을 보내 정상적인 데이터 수신을 알린다.

## 3. 결론

본 논문은 HBML 고압인버터의 마스터 제어기와 셀 제어기의 구성 방식에 대하여 설명하고 시험을 통해 검증 하였다. 하나의 전압지령 값과 Angle 값으로 셀에서 PWM을 연산하는 방식으로 통신 하드웨어를 병렬로 구성한 분산제어 방식이다. 이 방식에서 셀 제어기가 전압, 전류, 주파수, 보호기능, 통신감시 정보 등 셀 제어의 대부분을 담당함으로써 마스터 제어기의 부담을 줄이고, 따라서 신호선의 개수를 줄일 수 있었다. 통신 하드웨어의 중단에 마스터 제어기를 연결만 하면 마스터제어기의 2중화가 가능하므로 사용하고 있던 마스터 제어기의 고장시에 대체하여 사용할 수 있으므로 시스템의 안정성 향상에 도움을 준다. 이 방식을 적용한 1MVA 고압인버터를 개발 하였으며 현재 3MVA 고압인버터를 개발 중에 있다.

## 참고 문헌

- [1] 서광덕, 김종규, 박영민, 조성준, "멀티레벨 인버터의 기술 동향 및 제어특성 연구", 전력전자학회 하계학술대회 논문집, pp. 339~342, 2002. 7. 3-6.
- [2] Bor-Ren Lin; Yuan-Po Chien; Hsin-Hung Lu; "Multilevel inverter with series connection of H-bridge cells", Power Electronics and DriveSystems, 1999. PEDS '99. Proceedings of the IEEE1999 International Conference, Volume: 2, pp.859-864, 1999.
- [3] J. Rodriguez, Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng, "Multilevel inverter: a survey of topologies, controls, and applications", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 49, pp. 724-738, Aug. 2002.