

# 고전압 대용량 유도전동기 구동용 H-브릿지 멀티레벨 인버터의 신뢰성 향상

박영민, 이광환, 이세현  
현대중공업 (주)

## Reliability Improvement of H-Bridge Multilevel Inverter for Medium-Voltage & High-Power Induction Motor Drives

Young Min Park, Kwang Hwan Lee, and Se Hyun Lee  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

본 논문에서는 고전압 대용량 유도전동기 구동용 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 신뢰성 향상을 위한 전력 회로 모듈화, 제어 장치 분산화, 제어기와 통신 이중화, 그리고 Power Cell 고장 발생시 인버터 연속 운전 방법을 소개하였다. 신뢰성 향상을 위해 적용된 방법은 다양한 전압과 용량의 H 브릿지 멀티레벨 인버터를 설계 및 제작하여 각종 부하 실험, 산업 현장 적용을 통해 타당성과 실용성을 입증하였다. 또한 실제 제품 설계, 생산, 판매, 유지 보수 과정을 통해 설계의 유연성, 유지 보수의 편리성, 잉여성 확보, 그리고 사용자 요구에 대한 대응성이 우수함을 확인하였다.

### 1. H-브릿지 멀티레벨 인버터

H 브릿지 멀티레벨 인버터 시스템의 각 상은 단상 인버터 (Power Cell) 직렬 연결 구조이며, 여러 개의 Power Cell을 직렬로 연결함으로써 저전압 Power Cell, 즉 저전압 전력용 반도체를 사용하여 고전압을 얻을 수 있고, 또한 Power Cell의 수에 따라 출력 전압 레벨의 갯수가 증가하여 정현파에 가까운 전압 파형을 얻을 수 있다<sup>[1]</sup>. 입력측 변압기는 2차측 권선간에 위상차를 두어 Multi pulse 방식의 정류기형 컨버터를 구성함으로써 기존의 6 pulse 정류 방식에 비하여 아주 낮은 입력단 전류 고조파 특성이 있다. 인버터 최종 출력 전압은 Power Cell의 갯수를 조정함으로써 대응이 가능하다. 따라서, 입출력 전력 품질이 우수하며 강압 및 승압 변압기, 입출력 필터 그리고 고전압 전력용 반도체 소자를 사용하지 않으면서 고전압 전동기를 직접 구동할 수 있는 우수한 전력 토폴로지이다.

### 2. H-브릿지 멀티레벨 인버터 신뢰성 향상 방법

#### 2.1 전력 회로 모듈화

전력변환 장치의 모듈화 및 표준화 개념인 PEBB (Power Electronics Building Block<sup>[2]</sup>)을 적용한 Power Cell 단위로 설계하였다. H 브릿지 멀티레벨 인버터의 Power Cell은 하나의 완전한 단상 인버터 구조로써 입력 퓨즈, 다이오드 정류부, 전해 Capacitor, IGBT Module, IGBT Driver, SMPS 그리고 Power Cell 제어기로 구성된다. 따라서 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 각 상에 Power Cell을 직렬로 결선하기 전에 단상으로 구성된 Power Cell을 단독으로 시험할 수 있어 시스템 개발, 제작, 성능실험 그리고 유지보수에 편리함이 있다. Power Cell을 단독 실험 할 경우, Power Cell 제어기 내부 인터럽트를 이용한 PWM를 발생한다. Power Cell을 조합한 전체 H 브릿지

멀티레벨 인버터 운전시에는 CAN 통신 인터럽트와 Power Cell 제어기 내부에 저장된 위상 전이값을 이용하여 동기화된 PWM를 발생하여 멀티레벨 전압을 출력한다.

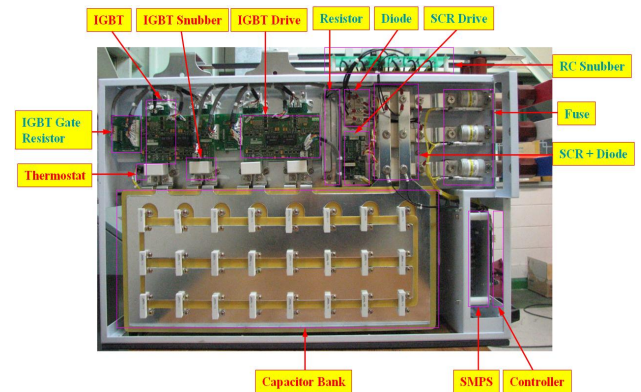
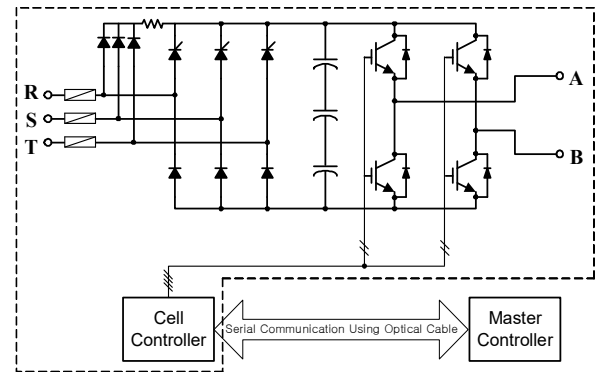


그림 1 모듈화된 Power Cell 전력 회로

#### 2.2 제어 장치 분산화

PEBB 개념을 파워 모듈에 한정하지 않고 제어 장치에 확대함으로써<sup>[3]</sup> 다양한 용량의 대용량 고전압 전동기 구동 장치인 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 모듈화, 신뢰성 향상, 유지 보수 편리성, 그리고 생산성 향상을 목적으로 하였다. 이를 위해 주 제어기와 Power Cell 제어기로 구분한 분산 제어기로 구성하였으며, 주제어기는 전동기 가변속을 위해 속도와 전류 제어를 수행하며, Power Cell 제어기는 주제어기의 기준 전압값에 의한 PWM 발생, PWM 위상 전이, 그리고 Power Cell 단위의 감시 및 보호 기능을 수행한다.

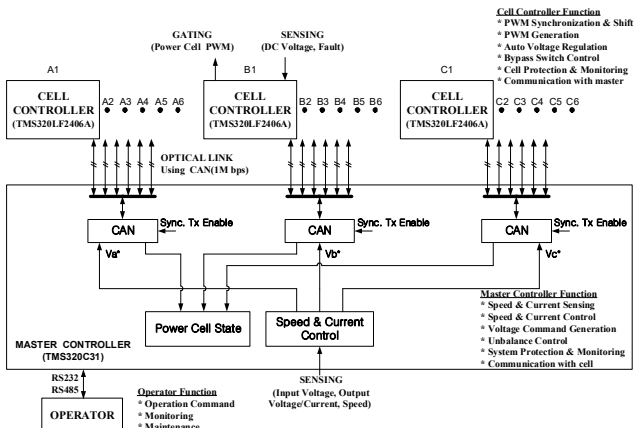


그림 2 분산화된 제어 장치의 구성

### 2.3 제어기 및 통신 이중화

주제어부 및 광변환 보드, CAN 통신선, 그리고 Power Cell 제어기 CAN 통신부 이중화를 이용해 제어기가 분산화 및 모듈화 되어있는 H 브릿지 멀티레벨 인버터 시스템에서 제어기의 고장시도 과도 시간을 최소화 하면서 연속운전이 가능하게 하여 시스템의 신뢰성을 확보 하였다.

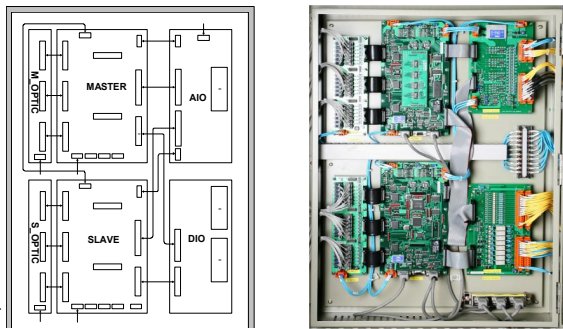


그림 3 제어기 및 통신 이중화 구성

### 2.4 Power Cell 고장 발생시 인버터 연속 운전

고장이 발생한 Power Cell을 Bypass 시키고 상전압의 위상을 변경하여 3상 출력 선간 전압을 평형으로 제어한다<sup>[4]</sup>. 적용된 방법은 H 브릿지 멀티레벨 인버터 Power Cell 고장 발생시 전체 인버터 시스템을 정지 시키지 않고 고장이 발생한 Power Cell을 시스템에서 제거하여 고장 수리 기간 동안 시스템을 정지하지 않으면서 효율적으로 정격 전압을 감소하여 운전이 가능하다.

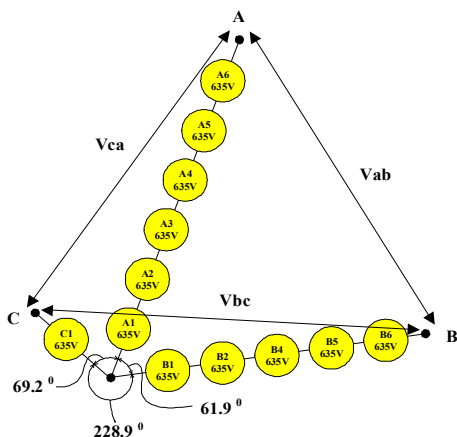


그림 4 3상 불평형 제어를 위한 벡터도

### 3. 상품화된 H-브릿지 멀티레벨 인버터

그림 5는 다권선 변압기와 단상 인버터의 직렬 연결로 구성된 3상 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 전력회로와 제어기 구성도이며, 그림 6은 PEBB에 근거한 전력회로와 분산 제어 구조로 구현된 6600V 2MVA 시스템이다.

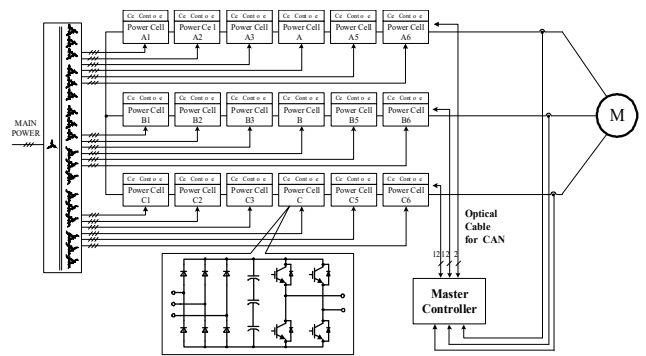


그림 5 시스템 구성도



그림 6 개발된 H-브릿지 멀티레벨 인버터

### 4. 결론

전력 회로 모듈화, 제어 장치 분산화, 제어기 및 통신 이중화, 그리고 Power Cell 고장 발생시 인버터 연속 운전을 적용하여 다양한 용량 (3300V/200kVA~6600V/800kVA)의 고전압 대용량 유도전동기 구동용 H 브릿지 멀티레벨 인버터의 신뢰성 향상에 기여할 수 있음을 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] Bin Wu, "High Power Converters and AC Drives", A John Wiley & Sons, 2006
- [2] Retzmann D. and Gambach H., "Panel session on PEBB concepts from medium voltage drives to high voltage applications", IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp.3689-3691, 4-7 July 2010
- [3] F. Caon, E. Gaio, F. Milani, V. Toigo, N. Balbo, G. Bertacche, and M. Zordan, "A full digital control board for IGBT H bridge switching converters", IEEE Applied Power Electronics Conference (APEC), vol.1, pp.167-172, 4-8 March 2001
- [4] D. Eaton, J. Rama, and P. Hammond, "Neutral shift: five years of continuous operation with adjustable frequency drives", IEEE Industry Applications Magazine, vol.9, issue 6, pp.40-49, Nov. Dec. 2003