

# 직류송전 적용을 위한 모듈형 멀티레벨 컨버터의 유·무효 전력제어

김도현, 양원모, 유승영, 한병문  
 명지대학교 전기공학과

## Active and Reactive power Control of Modular Multi-level Converter for HVDC Application

Do Hyun Kim, Won Mo Yang, Seung Yeong Yu, Byung Moon Han  
 Department of Electrical Engineering, Myongji University

### ABSTRACT

본 논문에서는 직류송전 적용을 위해 전력계통과 연계된 모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multi level Converter)의 유·무효 전력제어에 대해 시뮬레이션 모델을 개발하고 그 특성을 분석하였다. 분석에 고려한 모듈형 멀티레벨 컨버터는 한 암당 12개의 서브모듈로 구성되어 있고 모듈레이션은 NLC (Nearest Level Control) 방식을 사용한다. 또한 DC 커패시터의 밸런싱은 버블소팅 방식을 적용하였고 순환전류를 억제하는 알고리즘을 고려하였다. 시뮬레이션을 통해 분석한 유·무효전류제어를 실험적으로 검증하기 위해 10kVA DC 1000V 하드웨어 축소모형을 제작하고 실험을 실시하였다. 실험결과는 시뮬레이션 결과와 일치함을 확인할 수 있었다. 향후에는 교류전압 불평형 보상과 순환전류 제어, 컨버터 보호에 대한 다양한 알고리즘을 도출할 예정이다.

### 1. 서론

최근 국내외적으로 화석연료의 고갈과 탄산가스배출이 문제되면서 친환경적인 전력생산 및 공급에 대해 많은 연구가 집중되고 있으며, 이로 인해 대단위 풍력발전단지가 해상에 설치되는 추세이다. 또한 생산된 전력을 육지로 전송하는 방식으로 모듈형 멀티레벨 컨버터를 기반으로 한 전압형 HVDC 시스템이 주목을 받고 있다.

전압형 HVDC 시스템은 Thyristor를 기반으로 하는 전류형 HVDC에 비해 Black Start가 가능하고 진 지상 영역에서 동작이 가능한 장점을 가지고 있어 점차 설치가 증가하고 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 직류송전 적용을 위한 MMC의 모델을 개발하고 시뮬레이션 및 하드웨어를 통해 타당성을 검증하였다.

### 2. 모듈형 멀티레벨 컨버터

#### 2.1 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 및 제어기 구성

그림 1은 3상으로 구성된 MMC의 회로 구성도이다. MMC의 한 상은 상·하단 두 개의 암과 두 개의 암 리액터로 구성되며 각 암은 직렬로 연결된 12개의 서브모듈로 구성이 된다. 이 서브모듈에 구성되어 있는 반도체스위치의 ON/OFF 동작과 전류방향에 따라 출력측 전압을 커패시터의 전압 또는 영전압으로 형성하게 되고 이를 이용하여 MMC의 출력전압을 형성하게 된다.

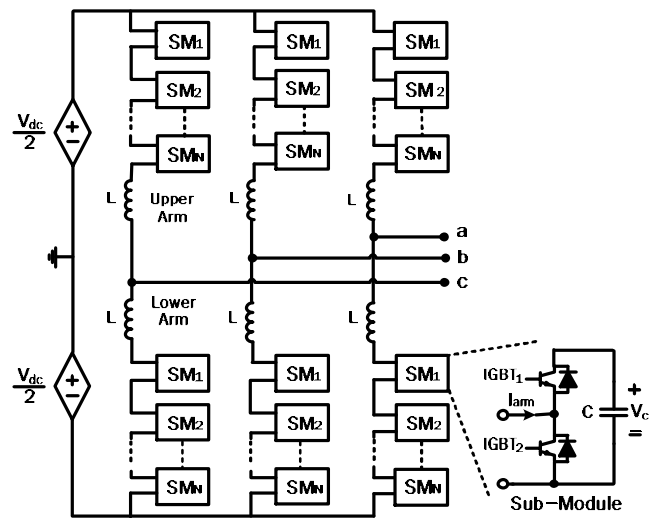


그림 1 모듈형 멀티레벨 컨버터의 회로 구성도  
 Fig. 1 Circuit configuration of MMC

MMC의 제어기 구성은 1개의 마스터 제어기와 6개의 암 제어기로 구성이 되어있다.

마스터 제어기는 에너지관리 알고리즘에 의해서 유/무효 전력 지령치를 생성하고 이를 전류제어 알고리즘과 순환전류를 억제하는 알고리즘을 거쳐 기준전압의 지령치를 생성한다.

이 기준전압의 지령치가 암 제어기에 전달되고 암 제어기에서 출력전압 형성 알고리즘과 서브모듈 커패시터 전압균등 알고리즘을 거쳐 각 암의 서브모듈 중 턴 온 되어야 하는 서브모듈의 개수의 지령치를 생성하고 적절한 서브모듈을 동작시킨다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션

MMC의 회로적 특성과 제어성능을 분석하기 위하여 우선 PSCAD/EMTDC 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 3은 MMC 시스템이 계통에 연계되어 유효전력을 출력하고 있을 때의 파형으로써, 계통전압, 각 상의 하단 암 전압 그리고 출력전류를 나타내고 있다.

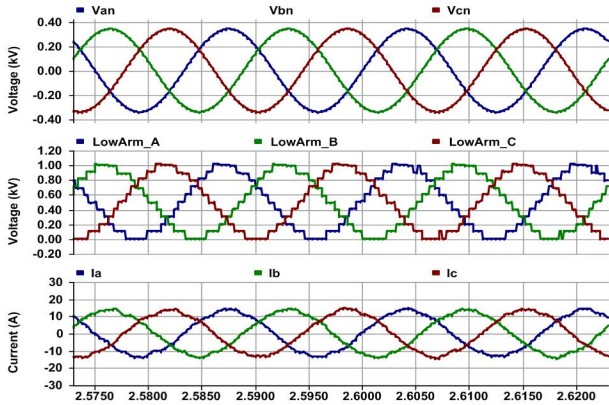


그림 3 유효전력 출력시, 출력전압 및 전류 시뮬레이션 파형  
Fig. 3 Output voltage & current waveform of Simulation

그림 4는 유효전력 지령치에 따른 유효전력 변화와 무효전력 지령치에 따른 무효전력 변화를 나타내고 있다.

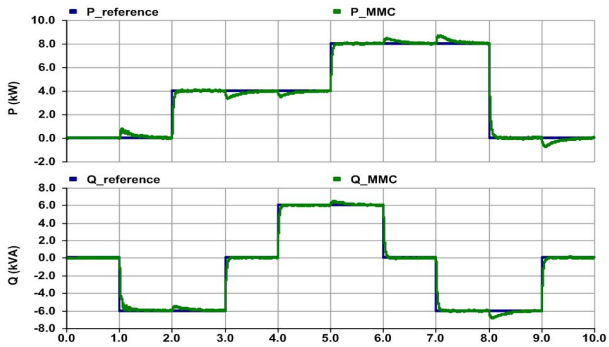


그림 4 유 무효 전력 변화에 따른 시뮬레이션 파형  
Fig. 4 Simulation waveform according to Power reference

#### 4. 하드웨어 제작 및 실험

그림 5는 실험실에 제작된 10kVA 용량의 MMC 하드웨어 시스템을 나타낸 것이다. 각 상별로 하나씩 3개의 랙(rack)으로 구성되어 있으며, 각 랙은 6층으로 총 72개의 서브모듈이 설치되어 있다.

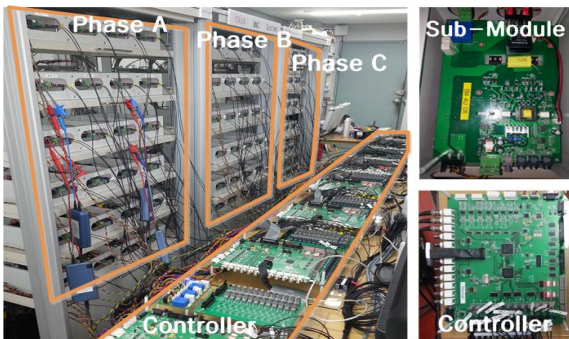


그림 5 모듈형 멀티레벨 컨버터의 하드웨어 구성  
Fig. 5 Hardware configuration of MMC

그림 6은 MMC 시스템이 계통에 연계되어 유효전력을 출력하고 있을 때의 하드웨어 실험파형으로써, 앞선 시뮬레이션과 동일함을 나타내고 있다.

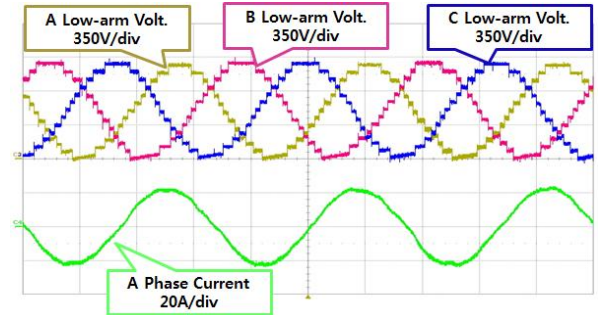


그림 6 유효전력 출력시, 출력전압 및 전류 하드웨어 실험파형  
Fig. 6 Output voltage & current waveform of Hardware

그림 7은 유·무효 전력 지령치에 따른 전력변화를 하드웨어 실험파형으로 나타내고 있으며, 앞선 시뮬레이션과 동일함을 나타내고 있다.

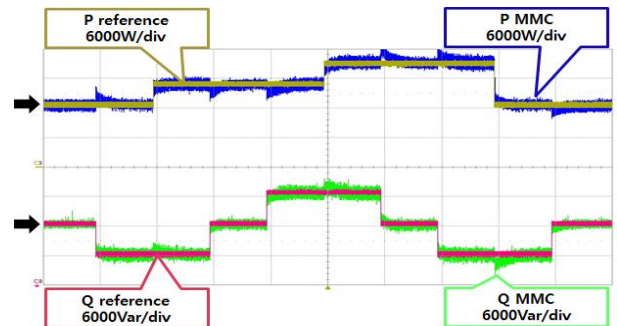


그림 7 유 무효 전력 변화에 따른 하드웨어 실험파형  
Fig. 7 Hardware waveform according to Power reference

#### 5. 결론

현재 상용화된 MMC 기반 HVDC에서는 한 Pole에 약 150개의 서브모듈이 직렬로 결합되어 전체를 그대로 분석하기 위한 시뮬레이션 모델 및 하드웨어를 개발하는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션의 복잡성을 완화하고 시뮬레이션의 동작시간을 줄이기 위하여 한 암당 12개의 서브모듈로 구성된 MMC를 시뮬레이션 상에서 구현하고 하드웨어적으로 타당성을 검증하였다.

향후에는 교류전압 불평형 보상과 순환전류 제어, 컨버터 보호에 대한 다양한 알고리즘을 도출할 예정이다.

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 지원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134030200310)입니다.

#### 참고 문헌

- [1] U. Axelsson, A. Holm, C. Liljegren, M. Aberg, K. Eriksson, O. Tollerz "The Gotland HVDC Light project experiences from trial and commercial operation", Electricity Distribution, 2001. Part1: Contributions. CIRED. 16th International Conference and Exhibition on (IEE Conf. Publ No. 482)