

# 전압형 HVDC에 의한 제주계통의 풍력한계용량 증대 방안

이승민\*, 채상현\*, 김호민\*, 김일환\*\*  
 제주대학교 풍력공학부\*, 제주대학교 전기공학과\*\*

## An Strategy of Increasing the Wind Power Penetration Limit with VSC-HVDC in Jeju Power System

SEUNGMIN LEE\*, Sang Heon Chae\*, Ho Min Kim\*, Eel Hwan Kim\*\*  
 Faculty of Wind Energy Engineering Graduate School, Jeju National University\*  
 Department of Electrical Engineering, Jeju National University\*\*

### ABSTRACT

The government on Jeju Special Self governing Province has a policy named 'Carbon Free Island Jeju by 2030'. The main purpose in this policy is to install wind power system with the total capacity of 1.35 GW by 2020. When the demand load on Jeju Island power system is lower than entire output power, a lot of dump power will be produced from the large scale wind farms. It will be able to cause the wind power limit on Jeju Island. Consequently, the additional power facility must be installed to ensure stable power system operation in Jeju Island and increase wind power limit. From this point, this paper proposes the installation of MMC HVDC, which can supply power in real time in the desired direction. The effectiveness of MMC HVDC based on measured data of Jeju Island power system will be verified by using PSCAD/EMTDC simulation program.

### 1. 서 론

제주도는 우리나라에서 손꼽히는 평균 풍속이 높은 지역이다. 이에 따라 국내·외 풍력발전사업자의 관심이 집중되고, 사업 참여와 함께 제주도의 풍력발전설비가 대용량, 대단지화 되고 있다. 이러한 추세에 따라 제주도에서는 2020년까지 총 1.35 GW의 풍력발전단지 조성을 목표로 하는 『Carbon Free Island Jeju by 2030』 정책을 통해 풍력발전 설비의 도입을 계획하고 있다. 하지만 2018년 준공되는 200 MW LNG발전소와 기존 발전설비에 더불어, 증가되는 풍력발전설비는 제약된 제주도 부하에서 감당할 수 없는 발전출력을 공급하고, 제주계통에 잉여전력을 발생시킨다. 이는 계통의 안정성을 저해하며, 풍력단지의 출력제한을 야기해 풍력발전설비의 효율을 감소시킨다. 이에 따라 제주계통의 풍력발전설비 용량 증가에 따른 안정적인 계통 운용을 위한 계통설비 확충이 불가피하다. 본 논문은 제주계통의 기존 설비인 전류형 HVDC #1, 2와 달리 육지계통과 제주도 계통간의 실시간 양방향 전력송전이 가능한 전압형 HVDC 기반의 21 Level MMC HVDC를 도입하여, 잉여전력의 역송을 통한 안정적인 계통 운용과 풍력한계용량 증대를 통한 풍력발전설비의 효율을 높이는 방안을 제안한다.<sup>[1]</sup>

### 2. MMC-HVDC 시스템의 구성

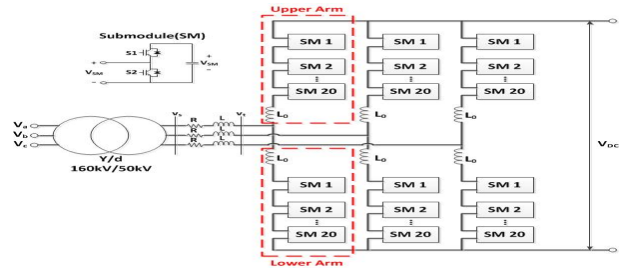


그림 1 21 Level MMC-HVDC 및 Submodule 구성  
 Fig. 1 Configuration of 21 Level MMC-HVDC and Submodule

그림 1은 21 Level MMC HVDC의 기본 구성이다. 각각의 MMC는 각 상당 Upper arm과 Lower arm으로 구성되며, 각각은 20개의 Submodule(SM)과 리액터가 직렬로 연결된 형태이다. SM은 하프 브릿지 형태로 2개의 IGBT와 역병렬 다이오드, 캐패시터로 구성된다.

### 3. MMC-HVDC 시스템의 제어이론

#### 3.1 MMC 전류제어기

위 그림 1의 AC측 전압을 전압방정식으로 나타내고 동기좌표계로 변환하면 식(1), (2)와 같이 나타내어진다.

$$v_{sdk} = i_{dk}R + L \frac{di_{dk}}{dt} + v_{tdk} - \omega L i_{qk} \quad (1)$$

$$v_{sqk} = i_{qk}R + L \frac{di_{qk}}{dt} + v_{tdk} + \omega L i_{dk} \quad (2)$$

$v_{sdk}, v_{sqk}, v_{tdk}, v_{tqk}, i_{dk}, i_{qk}$ 는 MMC k (k=1, 2)측 AC전압의 dq변환 값을 나타내며,  $\omega$ 는 AC 전압의 각주파수를 나타낸다.  $v_{tdk}, v_{tqk}$ 의 조정을 통해 MMC의 출력전류인  $i_{dk}, i_{qk}$ 가 제어가능하다.

#### 3.2 DC링크 전압 제어

AC측 리액터의 손실이 없다면, DC링크 전압은 식(3)과 같

이 나타내어진다.

$$C_e \frac{dV_{dc}}{dt} V_{dc} = -\frac{V_{dc}^2}{R_l} - (P_1 + P_2) \quad (3)$$

$C_e$ 는 MMC의 등가 캐패시턴스를 나타내며,  $R_l$ 은 총 스위칭 손실을 나타낸다.  $P_1$ 과  $P_2$ 는 각각의 MMC의 출력 유효전력을 나타낸다.

$$\frac{dV_{dc}^2}{dt} + \frac{2}{R_l C_e} V_{dc}^2 = -\frac{6v_{sq}}{C_e} i_{v_{dc}} \quad (4)$$

식(3)을 동기좌표계로 변환하여 수식화하면 식(4)와 같이 표현되며, 이를 통해 DC링크 전압제어가 가능하다.<sup>[2],[3]</sup>

#### 4. 2020년 제주계통의 풍력 한계용량

제주계통의 풍력 한계용량은 식(5)와 같이 나타내어진다.

$$P_{\text{풍력한계용량}} \leq P_{\text{제주지역 최소부하}} - P_{\text{제주지역 최소발전용량}} \quad (5)$$

제주지역의 2020년 최소 부하는 2010~2014년간 평균 증가율 45 %를 적용하면 486 MW로 예측되며, 최소 발전용량은 진류형 HVDC #1, 2와 제주기력, 남제주 기력 #3, 4의 최소 운전용량을 적용하여, 총 245 MW로 산정할 수 있다. 이에 따라 2020년의 풍력 한계용량은 241 MW로 제한되며, 이는 한전 제주지역본부의 2020년 예측 풍력설비용량인 669 MW와 비교할 때, 428 MW의 풍력 출력 제한이 요구됨을 확인할 수 있다.<sup>[4]</sup>

#### 5. 모의실험 결과

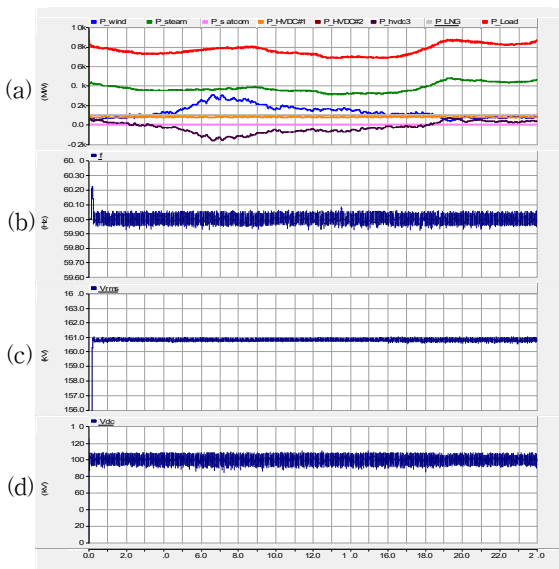


그림 2 2020년 1월 11일 유효전력, 계통전압, 주파수, DC링크 전압 파형

Fig. 2 Simulation results in Jan. 11, 2020.  
(a) Active power; (b) Grid voltage;  
(c) Grid frequency; (d) DC link voltage

그림 2는 2014년 1월 11일의 실제 발전원 출력과 부하 데이터를 기반으로 하여 2020년의 풍력발전설비용량과 부하를 예측하여 수행된 컴퓨터해석 결과이다. 그림 2 (a)의 3시경 2020년 제주계통의 풍력발전설비 출력이 증가함에 따라 잉여전력이 발생되고, 이에 따라 도입된 200 MW MMC HVDC는 발생하는 잉여전력을 육지계통으로 실시간 역송함을 확인할 수 있다. 이때, 풍력발전 출력 급변에도 그림 2 (b), (c)와 같이 계통전압과 주파수가 허용범위 이내에 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있으며, 또한 DC링크 전압이 그림 2 (d)처럼 일정하게 제어됨을 확인할 수 있다.

#### 6. 결론

본 논문은 한전 제주지역본부에서 예측한 2020년 제주계통의 풍력설비 용량에 따른 2020년 제주 전력계통의 안정적인 운용 및 풍력한계용량 증대를 위한 전압형 HVDC 기반의 MMC HVDC 시스템 도입에 대해 연구하였다. 2014년 1월 11일 실제 출력데이터를 기반으로 2020년 1월 11일 풍력발전 출력과 부하량을 모의하였으며, 200 MW 용량의 21 Level MMC HVDC 시스템을 도입하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해, MMC HVDC가 발생하는 잉여전력을 육지계통으로 실시간 역송함으로써 제주계통의 안정적인 운용에 기여함을 확인하였다. 또한, 잉여전력의 역송을 통해 풍력한계용량이 MMC HVDC 시스템의 설비용량만큼 증가함에 따라 풍력출력 제한이 줄어, 풍력발전설비의 효율이 증대됨을 알 수 있었다. 향후 2020년에 더 큰 설비용량의 MMC HVDC 설비의 도입 시 풍력한계용량의 증대 및 풍력발전설비의 효율 향상에 더욱 기여할 것으로 사료된다.

본 연구는 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(과제번호 20094020200020) 및 「풍력 발전설비 평가용 실증단지 확장개발」 과제(과제번호:2012T100201731)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

Corresponding Author : ehkim@jejunu.ac.kr

#### 참고 문헌

- [1] 제주특별자치도, “제주형 저탄소 녹색성장 Carbon Free Island Jeju by 2030”, 2012.5.
- [2] R. Z. Chai, “Control Strategies of MMC HVDC Connected to Passive Networks”, TENCON 2013 2013 IEEE Region 10 Conference, pp 1 4, 2013. 10.
- [3] Ngoc Think Quach, “Application of MMC HVDC System for Regulating Grid Voltage Based on Jeju Island Power System”, 전력전자학회 논문지, Vol. 19, No. 6, pp 494 502, 2014. 12.
- [4] 김영환, “에너지저장장치를 이용한 제주지역 풍력발전 한계용량 증대효과 분석”, 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 34, No. 1, pp 81 90, 2014. 1.