

MMC 기반의 전압형 HVDC 밸브단위의 운전시험 결과분석

서동우*, 정종규*, 정홍주*
 (주)효성 중공업연구소*

Operational test Analysis for HVDC Converter based-on Modular Multilevel Converter

Dong-Woo Seo*, Jong-Kyou Jeong*, Hong-Ju Jung*
 Hyosung Corporation, South Korea*

ABSTRACT

HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템은 무효전력의 독립적인 제어가 가능하여 계통의 안정적인 연계가 가능하다. 또한, 멀티 터미널 DC grid 구성이 가능해 다수의 계통을 통합 연계할 수 있는 장점이 있다. HVDC 시스템은 단위 유닛인 서브모듈로 구성된 MMC(Modular Multi-level Converter) 구조를 갖으며 밸브 단위로 시스템이 구성된다. VSC(Voltage Source Converter) 밸브는 IEC 62501 기반의 규격을 바탕으로 하드웨어 설계의 건전성과 성능을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 (주)효성이 개발 중인 200MW 모듈형 멀티레벨 컨버터 밸브 단위의 성능과 설계의 건전성을 확인하기 위해 밸브단위 운전 시험 회로를 구성하였으며, 운전 시험 결과를 분석하였다.

1. 서론

VSC(Voltage Source Converter) 기반의 HVDC 송전 기술은 AC 송전 대비 높은 효율을 가지며, 계통의 연계가 용이하고 전력 운용의 안정성과 효율성을 확보할 수 있어 풍력발전과 같은 신재생 에너지 분야에 널리 이용되고 있다.

HVDC 시스템의 경우 MMC(Modular Multi-level Converter) 토폴로지가 주로 사용되며, 서브모듈이라 부르는 컨버터를 직렬로 연결하여 높은 전압 레벨을 가진다. 이로 인해 고조파가 적은 AC전압을 얻으며 스위칭 손실이 적고 용량의 증설이 용이한 장점을 가지고 있다^[1].

서브모듈은 하프 브릿지와 풀 브릿지 두가지 토폴로지가 존재하며, 하프 브릿지 형태의 서브모듈은 2개의 IGBT 스위치와 DC 캐패시터, 바이패스 스위치 같은 보호 장치, SMPS 및 GDU 같은 전자장치로 그림 1과 같이 구성되어 있다.

밸브는 다수의 서브모듈이 직렬로 연결된 전기적인 구조이며, 각 밸브는 AC소스 혹은 DC소스를 입력받아 제어를 통해 직류를 교류로 또는 교류를 직류로 변환하는 기능을 한다. 밸브의 물리적, 전기적 설계에 대한 건전성 및 성능에 대한 검증은 IEC 62501기반으로 진행하며, 운전시험, 절연시험, 단락회로 시험 등 다양한 시험항목이 존재한다^[2].

본 논문에서는 서브 모듈로 구성된 밸브의 설계에 대한 건전성 및 성능을 검증하기 위해 IEC 62501 기반의 운전시험에 대한 시험회로를 설명하고 운전 시험 결과를 나타낸다. 또한, 향후 (주)효성이 개발 중인 HVDC 시스템의 개발 방향에 대해 기술한다.

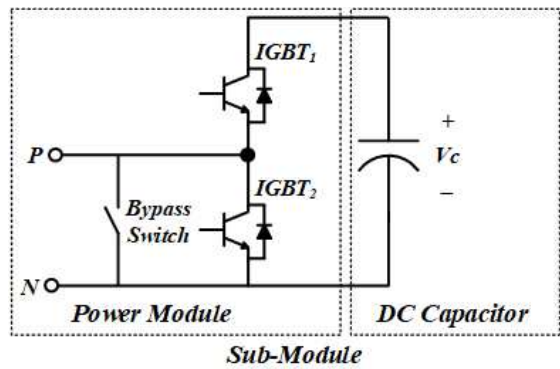


그림 1 서브모듈의 전기적 회로도
 Fig. 1 Electric circuit of Sub-module

2. 운전시험

동작 시험에 사용될 서브모듈은 (주)효성에서 개발 중인 200MW 급 DC±120kV 전압형 HVDC에 적용하는 것을 목표로 개발되었다. IEC 62501 규격을 적용하여 운전 중 전압, 전류, 온도 등을 포함한 최악의 반복 스트레스 조건에서 밸브 및 관련된 전기적 회로의 건전성과 성능을 검증하기 위해 아래와 같이 4가지의 운전시험을 진행하였다.

- 1) 최대 연속 운전 시험
- 2) 최대 일시 과부하 운전 시험
- 3) 최소 DC 전압 시험
- 4) IGBT 과전류 턴-오프 시험

그림 2는 운전시험을 위한 시험 회로도이다. 운전 시험을 위해 H-bridge 형태로 시험회로를 구성하였다. 각 밸브 사이에 암 인덕터가 연결되어 있으며, 실제 MMC 시스템의 운전 전류를 모의하기 위해 두 레그 사이에 LC 부하를 연결하여 공진 부하 전류를 생성한다.

최대 연속 운전 시험과 최대 일시 과부하 운전 시험의 목적은 운전 중 전압, 전류, 온도 등을 포함한 최악의 반복 스트레스 조건에서 VSC 밸브 및 관련된 전기적 회로들의 설계 적절성 확인 및 밸브에 포함된 전자 기기들과 VSC 밸브 회로 간의 상호 정상적인 동작을 확인하기 위함이다.

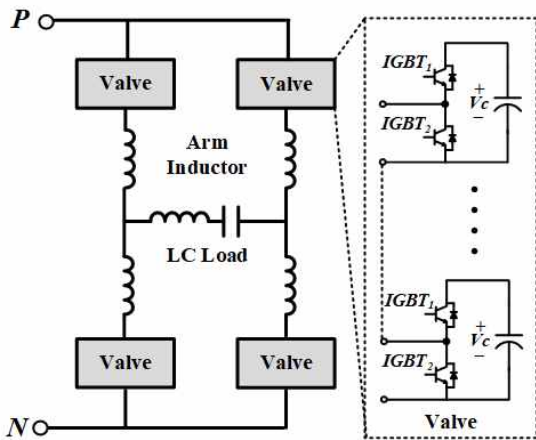


그림 2 밸브단위 운전 시험 회로도
Fig. 2 Circuit of operation test based on valve unit

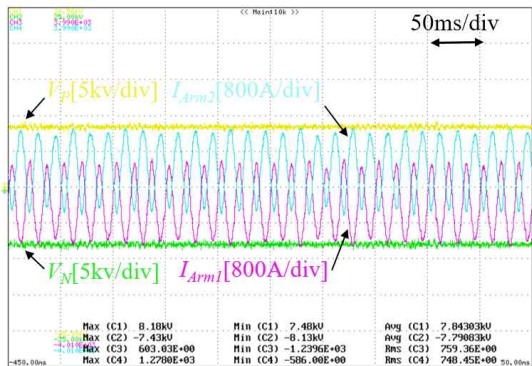


그림 3 최대 연속 운전 시험 결과 파형
Fig. 3 Waveform of maximum continuous operating duty test

IEC 62501에서 정의한 운전 시험 조건에 맞춰 전압과 전류 설정 및 냉각수를 포화 시킨 후 운전 시험을 진행하였다. 하단 2개의 밸브를 피시험품으로 하여 각 암 전류 및 DC 링크 전압을 측정하였다.

그림3는 최대 연속 운전 시험의 결과 파형을 나타내며, 30분 동안 운전을 지속하며 밸브의 전압 및 전류 냉각수 조건을 확인하였다. DC링크 전압과 하단 밸브의 암 전류를 측정하여 VSC 밸브의 정상적인 동작을 확인하였다.

그림4은 최대 일시 과부하 운전 시험의 결과를 나타내었다. 앞선 시험과 시험 목적은 동일하며, 시험 전류를 증가시켜 시험 시간 (2.4초)이상을 지속하여 VSC 밸브의 회로 간에 상호 정상적인 동작을 확인하였다.

최소 DC전압 시험은 시스템 운전 중 DC 링크 저전압 상황에서 밸브 터미널 사이에 인가되는 전압으로부터 밸브 전자 기기에 전원이 정상적으로 공급되는지 확인하기 위한 시험이다. 정격 DC 링크 전압에서 시스템이 De-block 상태를 유지하도록 DC 링크 전압을 조정하여 시험을 진행하였다.

그림 5는 IGBT 과전류 턴-오프 시험 결과 파형을 나타내며, 시험의 목적은 시스템의 과전류 감지 및 IGBT 턴-오프 시점의 전류 및 전압 스트레스에 대하여 VSC 밸브 및 관련 전기적 회로들의 설계 적정성을 확인하기 위함이다. 또한 IGBT의 턴-오프 순간과 과전류 감지 사이의 시험전류 파형으로부터 di/dt를 확인하였다.

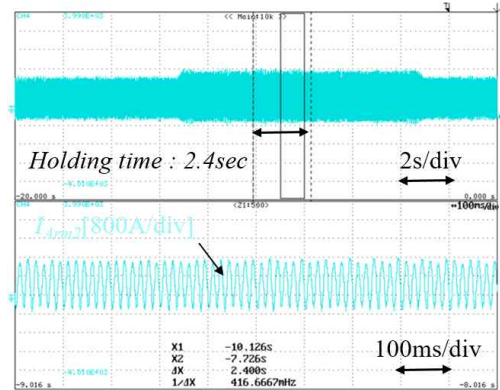


그림 4 최대 일시 과부하 운전 시험 결과 파형
Fig. 4 Waveform of maximum temporary over-load test

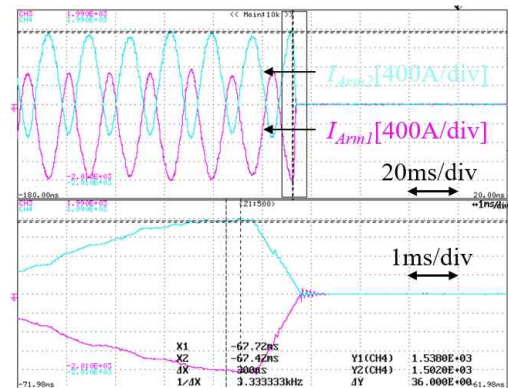


그림 5 IGBT 과전류 턴-오프 시험 결과 파형
Fig. 5 Waveform of IGBT over-current turn-off test

3. 결론

본 논문에서는 (주)효성에서 개발하고 있는 MMC 기반의 200MW HVDC 시스템을 위한 밸브 단위의 운전시험의 목적을 설명하고 시험결과를 나타내었다. 전체 시스템을 구성하기 전에 밸브 단위 설계의 건전성과 성능을 확인하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 밸브단위의 시험을 할 수 있도록 시험 회로를 구성하여, IEC 62501 규격에 명시되어있는 4가지 운전시험을 진행하였다. 운전시험을 통해 HVDC 시스템을 구성하는 밸브의 성능과 설계의 건전성을 확인하였으며, 향후 다양한 시험과 개발을 통해 200MW급 MMC 기반의 VSC HVDC의 결과물로 활용할 예정이다.

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20179310100060)

참고 문헌

[1] N. Flourentzou, V. Agelidis, G. Demetriades, "VSC-based HVDC power transmission systems: an overview", *IEEE Trans Power Electron*, vol. 24, no. 3, pp. 592-602, 2009.
[2] IEC 62501 : Voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) power transmission-Electrical testing, 2009.