

모델링을 통한 HVDC System 서브모듈의 전자기 시뮬레이션

선다운¹⁾, 송성근¹⁾, 김기범^{2*)}
 전자부품연구원¹⁾, 한국과학기술원^{2*)}

Electromagnetic simulation of HVDC System sub-modules through modeling

Daun Sun¹⁾, Sunggeun Song¹⁾, Kibeom Kim^{2*)}
 KETI¹⁾, KAIST^{2*)}

ABSTRACT

전압형 MMC HVDC 시스템은 다수의 서브모듈이 직렬로 구성되어 있으며, 서브모듈 내부의 고전압 반도체 소자는 수 kV로 스위칭 된다. 이때 발생하는 dV/dt에 의해 많은 고주파 성분의 과도노이즈가 전자파 방사 문제를 야기 시킨다. 본 논문에서는 HVDC 시스템의 전자파 노이즈 분석을 위해 1개의 서브모듈에 대한 측정 및 측정 결과를 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션 모델링을 진행하였다.

1. 서 론

최근 전압형 HVDC는 전력 손실 및 경제성, 멀티터미널 연계에 적합한 장점으로 그 수요가 증가하고 있다.^[1] MMC형 HVDC 시스템은 수십에서 많게는 수백 개의 서브모듈이 직렬로 연결된다. 각 서브모듈은 IGBT 및 Gate Driver, SMPS, 제어기 등 다양한 반도체 장치들로 구성되며 내부의 전력반도체 소자는 고전압의 스위칭 동작이 이루어지는데, 이때 발생하는 dV/dt에 의해 많은 양의 전자파 노이즈가 발생하게 된다.

노이즈는 케이블을 통해 전도되어 타 전자기기에 영향을 미칠 수도 있으며, 하우징을 새어 나와 외부로의 전자파 방사가 발생할 수 있다. 방사된 전자파는 그 크기에 따라 주변 기기에 문제를 일으킬 수 있으며 인체에 영향을 미칠 만큼 문제가 될 수도 있다. 수백 개의 서브모듈로 구성된 HVDC 시스템은 서브모듈의 전자기 신뢰성이 입증되어야 문제없이 안정적으로 운용이 가능하기 때문에 구축단계에서 전자파 해석을 함께 진행하여 문제를 검토하고 관련대책을 세울 수 있도록 하여야 한다.

이에 본 논문에서는 전압형 HVDC 시스템의 기본 구성품인 서브모듈에 대해 0.15 MHz ~ 30 MHz 주파수 대역의 방사성 노이즈(RE)를 측정하였으며, 취득 데이터를 바탕으로 서브모듈을 모델링하여 전자파 해석 시뮬레이션을 진행하였다.

2. 본 론

2.1 서브모듈 방사잡음 측정시험

HVDC 시스템에 대한 전자기 신뢰성 기준이 명확하게 정립되지 않았기 때문에 관련 규격인 CISPR 18 및 IEC 62501, CIGRE 391, CISPR 11 등을 참고하여 진행한다.^[2] 그림 2는 그림 1과 같이 서브모듈의 10 m 거리에서 Loop Antenna로 측정된 0.15 MHz에서 30 MHz 대역의 방사성 노이즈이다.



그림 1 서브모듈 방사성 노이즈 측정시험
 Fig. 1 Test setup for the radiated noise measurement of a sub-module

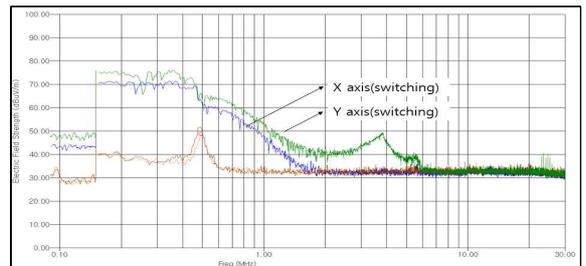


그림 2 방사성 노이즈 측정 결과 (0.15 MHz ~ 30 MHz)
 Fig. 2 Radiated noise measurement results (0.15 MHz ~ 30 MHz)

본 논문의 결과는 루프 안테나에 대해 10m 거리에서 x-축의 측정 결과를 기준으로 모든 시험 및 시뮬레이션이 진행되었으며, 스위칭 동작 전압을 1.5 kV로 유지한 상태에서 측정하였다. 0.15 MHz ~ 0.45 MHz는 약 70 dBµV/m의 노이즈가 발생하였으며, 2 MHz ~ 30 MHz 대역은 약 32 dBµV/m 내외로 측정되었다.

2.2 시스템 모델링 및 시뮬레이션

그림 3은 서브모듈의 전자기 해석을 위하여 EMCs Studio 시뮬레이션 툴을 이용해 모델링한 모습이다. 측정데이터와의 비교분석을 위하여 서브모듈과 루프안테나의 거리는 10 m, 루프안테나의 높이는 1.5 m, 시료는 바닥으로부터 0.8 m로 실제

시험환경과 동일하게 구성하였으며, IGBT 및 Gate Driver, Bus plate, SMPS, 방열판, 제어기 등을 포함하여 서브모듈을 모델링 하였다. IGBT에 고전압이 인가된 상태에서 스위칭 되기 때문에 이는 노이즈 발생의 주요인으로 추정되며, 본 논문에서는 Bus plate와 IGBT 사이에 노이즈 소스원을 연결하여 시뮬레이션을 진행하였다.

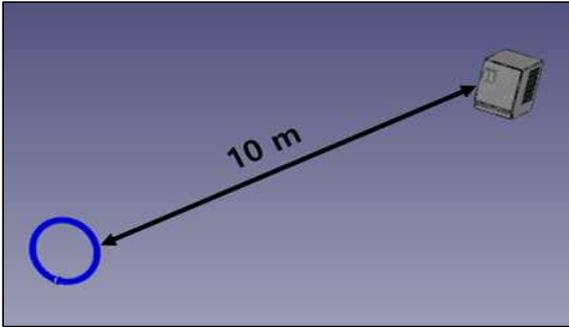


그림 3 서브모듈 전자기 해석을 위한 모델링

Fig. 3 The electromagnetic 3D model of a single sub-module

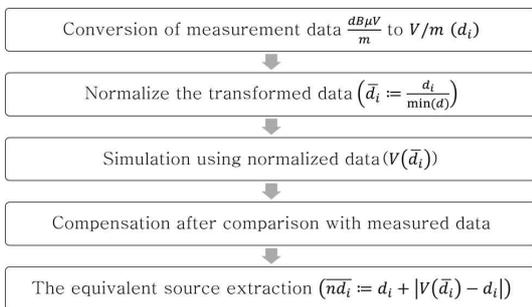


그림 4 등가 소스 추출을 위한 절차

Fig. 4 Procedure to extract the equivalent source model

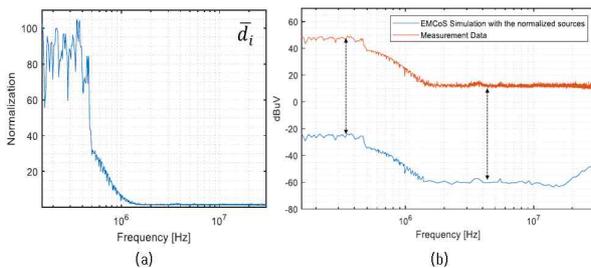


그림 5 정규화 된 데이터와 시뮬레이션

Fig. 5 The normalized source model and simulation result

측정 데이터로부터 등가 Source를 추출하는 방법은 그림 4를 따른다. Raw data를 시뮬레이션 툴의 scale에 맞추어 단위 변환하고 이를 정규화 시킨다. 여기서 취득한 정규화 데이터 그림 5(a)를 Source 모델에 적용하여 시뮬레이션을 진행하면 그림 5(b)와 같이 실제 데이터와 큰 차이를 보이게 된다. 따라서 그림 5(a)와 같이 이러한 오차를 보정한 최종 등가 Source 값을 이용하여 전자기 해석을 진행하였으며, 측정에 사용된 Loop Antenna AF(Antenna Factor, 20 dB)를 적용하여 취득한 최종 결과 값을 실제 측정값과 비교한 데이터는 그림 6(b)에서

확인할 수 있다.

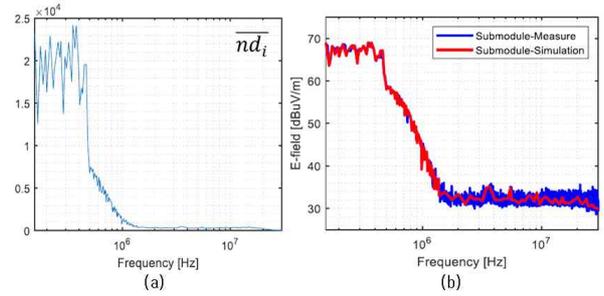


그림 6 노이즈 소스 모델링 및 시뮬레이션 결과

Fig. 6 The compensated source model and simulation result

3. 결론

본 논문에서는 전압형 MMC HVDC 시스템을 구성하는 서브모듈의 EMC 측정 데이터를 이용하여 등가 Source를 모델링하고, 전자기 해석 시뮬레이션을 진행하였다. 이러한 결과는 시스템 구축 단계에서 전자기 신뢰성 입증에 위한 자료로 활용할 수 있을 것이다. 해당 연구는 단일 서브모듈의 전자기 시뮬레이션 결과로서, 차후 수십 수백의 서브모듈로 구성된 Valve 차원의 해석 진행에 적용하기에는 많은 한계가 있을 것으로 추측된다. 때문에 전자기 해석 방식에 있어 다양한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

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

참고 문헌

- [1] 김희진, 허건, 윤민한, 장길수, “전압형 컨버터 HVDC 기술 동향과 사례 분석” The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 8, p. 34-40, 2012, February.
- [2] Jian Zhang, Tiebing Lu, Weidong Zhang, Jun Xu, and Wenqi Li, “Measurement and Analysis of Radiated Disturbance Characteristics of ±320 kV Modular Multilevel Converter System”, IEEE Access, Vol. 7, pp.10028-10036, 2019, January.