

±80kV 60MW HVDC System의 절연협조 설계 시 PSCAD를 이용한 Switching Impulse 검증 방법

권준범*, 이육화*, 정용호*, 나현국**, 이덕진**, 문형배**
 LS산전(주)*, 한국전력공사**

Switching Impulse Verification method of the ±80kV 60MW HVDC System using the Modeling and PSCAD

J.B.Kwon*, U.K.Lee*, Y.H.Chung*, D.J.Lee**, H.B.Moon**
 LSIS*, KEPCO**

Abstract - 본 논문에서는 제주 한림 풍력발전소와 한림 변전소 간에 구축할 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템의 절연 설계를 위해, 각 구성품의 절연 등급을 수 계산으로 설계하였고 PSCAD로 검증하였다. 해당 HVDC 시스템에 영향을 미칠 수 있는 주요 임펄스 중 긴 시간을 가지고 빈번하게 발생 하는 Switching Impulse가 미치는 영향을 모든 상황을 고려하여 모의 하였고 수 계산으로 설계된 절연 등급을 검증 하였다.

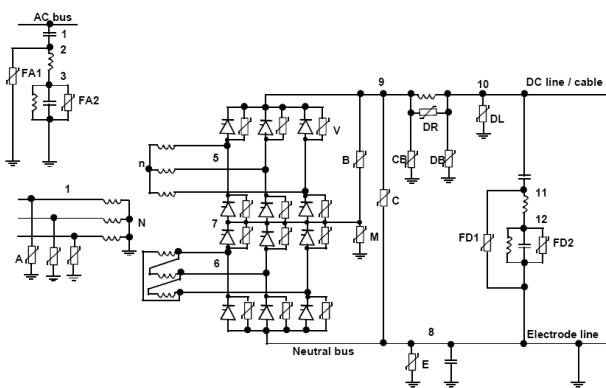
1. 서 론

HVDC 변환설비의 절연 설계 과정은 2가지 목적을 바탕으로 한다. 첫째, 시스템에서 나타나는 임펄스 과전압의 충격으로부터 즉시 주요 소자(변압기, 사이리스터 Valve 등)를 보호하기 위함이다. 둘째, 신뢰성 있고 경제성이 확보된 변환설비를 설계하기 위하여 BIL, BSL 그리고 clearance 등을 최적화하기 위함이다.

HVDC 동작 구간, 사고 구간에서 나타날 수 있는 대표적인 3가지 임펄스는 Slow-front, Fast-front, Very-fast front가 있으며, 이중에 가장 빈번히 발생하는 Switching Impulse가 발생 할 수 있는 상황을 PSCAD를 이용한 HVDC 모델에서 모두 모의한다. 또한 모의 후에 해당 절연등급이 적절한지, 기기를 보호하기 위한 피뢰기 같은 장비의 Switching Impulse에 대한 영향을 검증 한다.

2. 본 론

2.1 ±80kV HVDC System 절연레벨



〈그림 1〉 ±80kV HVDC System 절연레벨 위치

AC 변전소 절연 설계과정과 차이점을 고려하여, HVDC System을 절연 설계하면 표 1과 같은 결과가 수 계산으로 나올 수 있으며, 이를 고려하여 HVDC 시스템 기기 각 위치의 피뢰기 위치를 결정한다. 그림 1은 IEC 규격 기준으로 추천된 피뢰기 위치이다. 해당 System에서는 IEC 규격을 이용하여 AC 라인 측에 임펄스를 고려하여 Type A 피뢰기를 선정하고, AC Filter의 인덕턴스의 에너지 및 커패시터 뱅크의 단락 등을 고려한 Type FA 피뢰기를 설치한다. 또한 개별 Valve를 AC 라인 측으로부터 넘어오는 임펄스로부터 보호하고, Valve 직렬 개수에 따른 보호등급을 고려하여 Type V, Type B, Type M을 설치한다. 그리고 DC 선로로부터의 직접적인 Lightning Impulse 및 선로 개방에 따른 Switching Impulse로부터 기기를 보호하기 위한 Type DL 피뢰기

를 설치하며, Neutral 선로에 인가되는 Lightning Impulse 및 선로 개방, 운전 모드에 따른 스트레스를 감안하여 Type E 피뢰기를 설치한다.

〈표 1〉 ±80kV HVDC System 절연레벨 및 보호 등급

피뢰기	절연 협조 등급		
	MCAV (kVpk)	SIPL 36/90us (Crest kA/ Residual Voltage)	SIWL (15%)
Type V	52.77	1.00	90.55
Type B	52.77	1.00	99.60
Type M	53.34	1.00	100.69
Type E	0.58	1.00	22.58
Type A	126.00	1.00	290.00
Type DL	80.80	1.00	145.44

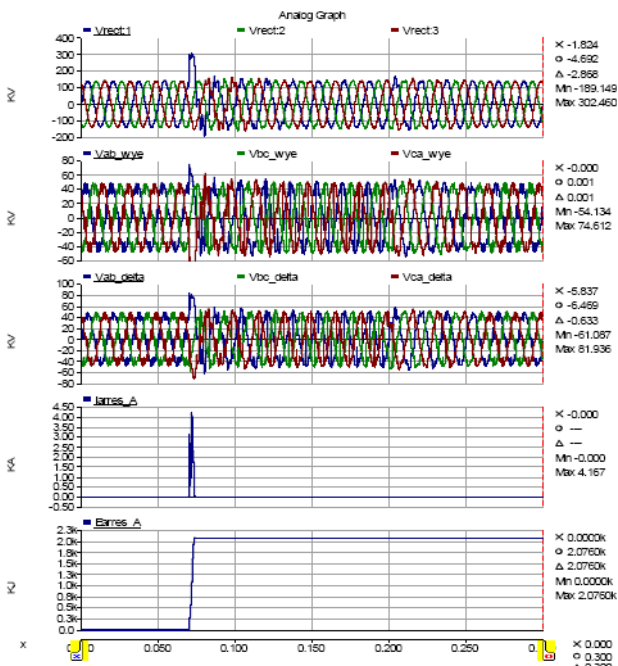
Type FA의 AC 필터 피뢰기에 관련된 보호등급 및 절연등급은 표 1과는 다른 과정을 통해 검증되어야 하므로 본 논문에서는 다루지 않는다.

2.2 Simulation을 통한 Switching Impulse 검증

표 1의 Switching Impulse 보호 등급에 맞게, 보호기기를 선정 후에 다음 표 2의 사고 유형을 PSCAD 시뮬레이션 모델을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

〈표 2〉 피뢰기 유형별 사고 Case

구 분	Fault Case
Type A	Case 1: 3phase AC fault with full load rejection Case 2: Application of 290kV switching impulse
Type V	Case 1: Ground fault Case 2: 290kV Switching Surge from the AC side limited by A-type Arrester
Type B / M	Case 1: Cleaning of an AC fault near the converter station Case 2: Current extinction in the corresponding 6-pulse group Case 3: A switching surge transferred from the ac side.
Type DL	Mainly used to protect the system from lightning stresses.
Type E	Case 1: Earth fault on the dc bus/line Case 2: Earth fault between the valves and the converter transformer Case 3: Loss of return path during mono-polar operation.



〈그림 2〉 Type A-Case 2 모의 결과

Simulation 결과 예시로, 그림 2는 표 2의 상황 모의 결과 중 최악의 상황인 Case2의 Simulation 결과이다. 설계한 보호레벨에 맞게 보호기기인 피뢰기가 동작하며 동작 시 방전 전류를 흡수하며 동작하고, 피뢰기 에너지 내량을 확인 할 수 있다. 이 결과는 Type A 위치의 절연 및 보호 등급 피뢰기 선정, 설치 면적 등 결정에 적용될 수 있다.

2.3 Simulation 결과 및 절연 및 보호 등급 결정

표 1의 기본 절연 협조 설계를 바탕으로 모든 상황을 고려하여 표 2의 상황을 모의 하였다. 보호 등급 및 방전 전류가 가정하고 계산된 값과 다소 차이가 있는 것을 확인 할 수 있으며, 피뢰기의 에너지 내량을 확인 할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 절연 등급과 보호기기간의 상호 관계를 조절할 수 있다. 에너지 내량에 따라 피뢰기가 병렬로 사용될 수 있다. 하지만 병렬 사용 시, 설치 공간이 늘어 날 수 있으며 비용 또한 증대 한다. 하지만 보호 등급을 올리면 피뢰기 에너지 내량은 줄어들고 가격은 감소하지만 기기간의 내압 등급이 높아지며, 미리 가정된 사고의 임펄스로부터 보호받지 못할 수도 있다.

〈표 3〉 피뢰기 유형별 사고 Case

피뢰기	시뮬레이션 결과				
	MCAV (kVpk)	SIPL 36/90us (Crest kA/ Residual Voltage)	SIWL (15%)	Energy (kJ)	
Type A	139	4.17	302.46	375	2144
Type V	47.8	0.56	82.8	150	73.11
Type B	47.8	0.13	77.3	114	15
Type M	48.14	0.032	78.8	115	5.7
Type E	<5	0.84	21.55	50	546.11
Type DL	85	N/A	N/A	250	1500

3. 결 론

본 논문에서는 국내 최초로 자체기술을 이용하여 개발 예정인 ±80kV 60MW HVDC 시스템에 대하여 기본 절연 설계 등급, 방안, 고려사항을 제시하였다. 그 중 빈번히 발생 할 수 있는 Switching Impulse 에 대한 중요 상황을 가정하여 시뮬레이션으로 모의하고 결과를 기본 절연설계

와의 비교 후 가격, 신뢰성 등 측면의 trade-off 관계를 고려하여 최종 결정하였다. 향후 Lightning Impulse 에 대한 기기 모델링을 통하여 절연 및 보호 등급을 검증하고 적용할 예정이며, 통합 후 최적화된 방법으로 HVDC 시스템의 추가 도입 시 적용할 예정이다.

【참 고 문 헌】

- [1] IEC Standard 60071-1, Insulation Co-ordination - Part 1 : Definition, principles and rules
- [2] IEC Standard 60071-2, 1996 Insulation Co-ordination - Part 2 : Application Guide
- [3] IEC Standard 60071-5, Ed1, Insulation Co-ordination - Part 5 : Procedures for HVDC Converter Stations
- [4] Cigre Application Guide for Metal Oxide Arresters without gaps for HVDC Converter Stations (WG 33/14-05)
- [5] Cigre Application Guide for Insulation Co-ordination and Arrester Protection of HVDC Converter Stations WG 33-05)
- [6] "High-Voltage Direct Current Handbook, First Edition", D. Wilhelm
- [7] "Guidelines for the Application of Metal Oxide Arresters without Gaps for HVDC Converter Stations," Electra No. 127, December 1989.
- [8] I. S. Kresge and E. C. Sakshaug, "Zinc Oxide Experience and Applications of HVDC Stations," IEEE Conference on Overvoltage on Integrated AC-DC Systems, Winnipeg, Canada, July 9-11, 1980.
- [9] E. C. Sakshaug, J. S. Kresge, S. A. Miske, "A New Concept in Station Arrester Design," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. P AS-96, March April 1977, pp. 647-656.