

±80kV 60MW HVDC System의 Valve Hall 및 DC/AC Switch Yard를 위한 최소 절연거리 설계 방법

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

Air Clearance and Creepage distance design method of the ±80kV 60MW HVDC System for the Valve Hall and the DC/AC Switch Yard

J.S.Jo*, 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 설계하였다. 계산된 절연등급을 기반으로 한림 변전소와 한림 풍력 단지에 설치되는 HVDC 기기들의 최소 절연거리를 IEC 규격에 맞게 설계하였다. AC/DC 기기의 특정 전압 등급에 견딜 수 있는 최소 거리는 실제 시스템 설치 시 반영함으로써 검증하였다.

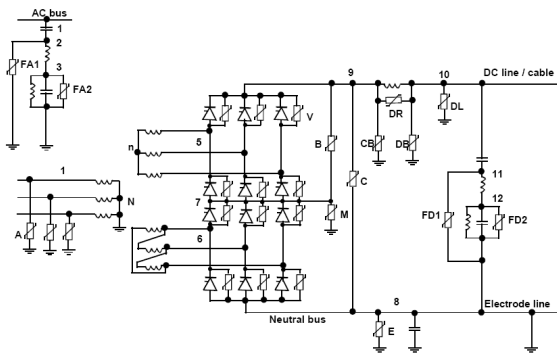
1. 서 론

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.

이중에서 Clearance 및 Creepage는 저압 기기와는 다르게 고압 기기에서 매우 중요하다. 고압이 인가되는 중요한 기기 사이의 최소 거리가 유지되지 않으면 섬락, 역섬락 같은 현상과 함께 단락 현상이 나타나며 기기 파괴를 일으킬 수 있다.따라서 본 논문에서는 IEC 기준에 맞게 각 기기의 부분에서 설계된 절연설계값 중 내압(Withstand Level)을 이용하여 각 기기간의 설치 시 최소한의 이격거리를 산정하였으며, 이를 전체적인 설치면적에 반영하였다.

2. 본 론

2.1 ±80kV HVDC System 절연레벨



<그림 1> ±80kV HVDC System 절연레벨 위치

HVDC 시스템의 절연거리인 Clearance와 Creepage를 설계하기 위해서는 온도, 습도, 염도, 기압 등 최악의 상태를 반영한 주변 환경 요소에 대한 정의가 필요하다. 또한, 섬락 발생 유무에 대한 확률적인 정의가 필요하다. 이 같은 변수를 정의 하고나서야 각 부분에 대한 절연거리를 설계 할 수 있다. 우선적으로 각 위치에서의 절연 레벨을 우선 구해야 한다. 절연거리를 구하기 위해서는 최대 지속 전압 및 Switching 및 Lightning에 관한 내압을 구해야 한다. 그림 1은 IEC 60071-5에 도시되어 있는 HVDC 의 기본 단선도를 나타내며, 본 논문에서는 IEC 규격 및 Cigre 규격을 이용하여 각 부분의 절연레벨을 다음과 같이 표 1과 같이 설계 하였다.

<표 1> ±80kV HVDC System 최대지속 전압 및 내압

위치	MCOV (kVpeak)	SIWL (kV)	LIWL (kV)
1	139	375	750
5	91.52	250	300
6	47.8	150	180
7	47.8	115	115
8	5	50	150
9	91.52	250	350
10	85	250	350
5&6	-	150	175
5-6	-	250	350
8-9	-	250	350
9-10	-	200	350

표 1을 보면 그림 1의 위치에 맞게 최대 지속 전압 및 Switching 및 Lightning에 관한 내압을 설계하였다. 최대 지속전압은 Creepage를 설계하는데 있어서 반영이 되고, 내압은 Clearance를 설계하는데 반영이 된다.

2.2 Clearance 설계 과정

최소 Clearance를 설계하기 위한 과정은 다음과 같다. 우선 50% 확률로 섬락이 발생하는 조건으로 정의한 표준편차로 서지 섬락 전압 등급을 결정한다.

$$U_{50} = \frac{U_0}{1 - 1.3\sigma}$$

U_{50} = 서지 섬락 전압 등급

U_0 = 절연 협조 설계에 따른 내압 등급

σ =표준 편차

IEC 60071-2에 따라서, 실내 설치 시 U_{50} 는 표준 환경 조건에서의 주변온도 및 습도를 포함한 환경 요소의 편차 때문에 수정될 수도 있다. 다음은 주변 대기 정정 요소 반영을 위한 환경 요소를 설계 한다.

$$K1 = \delta^m$$

$K1$ = 공기 밀도 정정요소

δ = 상대적 공기 밀도(m은 방전 경로 및 선로 길이에 따라 변경)

상대적 공기 밀도는 표준 기압 및 표준 온도 그리고 설치될 장소(EX : Valve Hall, DC Yard, AC Yard)의 기압 및 온도를 반영하여 공기 밀도를 설계한다.

$$\delta = \frac{p}{p_0} \times \frac{273 + t_0}{273 + t}$$

p = 실제 기압

p_0 = 표준 기압 (= 1013hPa)

여기에서 실제 기압은 해수면 기준 설치 높이에 따라 달라지며, 1000m 이하는 IEC 60071-2 기준에 따라 수정될 필요 없다.

$$p = 1013e^{\left(\frac{-H}{8150}\right)}$$

H = 해수면 기준 설치 높이

공기 밀도 외의 습도에 대한 환경 요소는 다음과 같이 결정된다. 습도에 따라 섬락이 발생할 확률이 달라질 수 있으며, 계산한 최소 절연거리보다 단락 또는 사고가 발생할 확률이 달라질 수 있으므로, 주변 환경 요건을 고려하여 설계 하여야 한다.

$$K^2 = k^w$$

K^2 = 습도 정정 요소

k 는 IEC 60060에서 제시하기를 상대적 공기 밀도와 절대 습도에 대한 비율로서 시험 전압의 유형에 따라 결정된다.

$$k = 1 + 0.01 \left(\frac{h}{\delta} - 11 \right)$$

h = 절대 습도 (g/m^3)

여기에서 절대 습도는 다음과 같이 구하며 온도 및 상대 습도로 설계될 수 있다.

$$h = \left(\frac{6.11 \times R \times e^{\left(\frac{17.6 \times t}{243 + t}\right)}}{0.4615 \times (273 + t)} \right)$$

R = % 단위로 표시한 상대적 습도

방전 경로 길이 및 도체 형상 요소에 따라 변경되는 g 는 다음과 같이 설계 한다.

$$g = \frac{U_{50}}{L\delta k}$$

L = 미터 단위의 최소 방전 경로 길이

따라서 최종적으로 주변환경 요소 및 형상 요소, 표준편차 및 섬락 전압을 확률적으로 반영하여 설계된 최소 절연거리 Clearance는 다음과 같이 설계 될 수 있다.

$$d_{lw} = \frac{U_{50}}{530 K^1 K^2} \quad d_{sw} = \left(\frac{U_{50}}{500 K^1 K^2} \right)^{1/0.6}$$

d_{lw} = Lightning Impulse에 대한 최소 Clearance

d_{sw} = Switching Impulse에 대한 최소 Clearance

K = 설계과정에서 결정되는 형상 요소

2.3 최소 절연거리 설계 결과

2.2절에서 설명한 설계 방법을 이용하여 HVDC 시스템에서 적용할 수 있는 최소 절연거리는 다음과 같다.

〈표 2〉 절연거리 설계 결과

위치	Clearance (mm)
5	850
6	850
7	1500
8	500
9	1500
5 to 6	1500
5 to 7	1500
5 to 8	1500
5 to 9	1500
6 to 8	1500
6 to 9	1500
8 to 9	1500
10	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 Valve Hall, DC Yard, AC Yard 설계 시 반영 해야 할 고압 기기의 섬락, 역섬락 또는 단락 같은 사고의 방지, 설치면적 최적화 등을 위한 최소 절연거리를 IEC 규격에 맞게 설계 하였다. 절연설계를 통한 내전압 및 주변 환경요소를 실제 설치될 곳의 요소를 반영하여 설계하였고 실제 설치도면에 적용하였다. 향후 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.