

HVDC 손실 계산 및 측정에 대한 연구

최용길
LS산전

Study for Calcularion and measurement of HVDC loss

Yong Kil, CHOI
LSIS

ABSTRACT

100년전 토마스 에디슨이 주장한 직류 전력 전송 방식인 DC 송전은 AC 송전보다 장거리 송전 시 손실이 적고 안정도가 좋다. 또한 다른 주파수를 가진 두 지역을 연계하여 전력을 전송할 수 있으며 전력 조류를 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나, AC와 DC전력간의 변환 장치를 필요로 하여 설비 구축 비용이 비싸다는 점과 고도의 제어기술 및 검증 기술이 요구된다는 단점은 이제 굳이 논할 필요도 없는 사실이다. 이에 수년전부터 국내에서도 손실이 적고 안정도가 좋다는 장점이 지속적으로 부각되고 있으며 친환경 발전 및 스마트 그리드의 호황 속에 DC 송전 기술의 필요성은 차세대 기술로 각광받으며 DC 고압 직류 방식인 HVDC (High Voltage Direct Current, 이하 HVDC)에 대한 연구 및 사업이 시작되었다. 그러나, HVDC 시스템의 손실 측정은 계산으로 인해 이루어지고 있으며, 이에 대한 실측 방안은 현재 없다. 또한 시스템 설계 시, 고려해야 하는 시스템의 Feasibility 및 신뢰성에서 손실은 중요한 지표 중의 하나이다. 그러나, HVDC 를 개발하고 설치, 운전하여 양도 또는 인수하는 과정에서 손실은 전력요금과 직결되기 때문에 계산 및 측정에 대한 논란이 있는 실정이다. 계산 및 측정하는 HVDC의 손실은 무부하 손실 및 부하 손실로 구분된다. 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 손실 계산 방법을 소개하고 당사에서 측정을 실시한 HVDC 손실 측정 방법에 대해 소개하고자 한다.

1. 서론

HVDC 손실 계산은 주요 손실 기기인 변압기, 밸브, 고조파 필터, 평활리액터 등으로 계산되어 지며, 손실 측정은 기기별 측정이 어렵기 때문에 mono pole 운전 조건으로 송전 측 변환소와 수신 측 변환소의 손실을 측정하였다. 또한 이 때의 고조파 필터의 손실을 측정하였다. 고조파 필터의 손실을 별도로 측정한 이유는 그림1과 같이 HVDC 시스템에서 고조파 필터는 병렬로 구성되어 지기 때문이다.

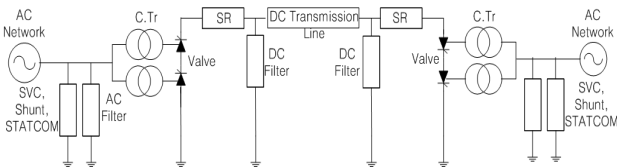


그림 1. HVDC 시스템 구성

2. 본론

2.1 HVDC 손실 계산

HVDC 손실 계산은 EPRI HVDC HANDBOOK 등에서 제시하는 값을 참고하면, 변압기 39.53%, 밸브 32.35%, 고조파 필터 7.12%, 평활리액터 4.6%, 기타 4.9%라고 한다.

결국, HVDC 전체 운전 손실은 변압기, 밸브, 고조파 필터, 평활리액터의 손실을 알면 알 수 있다.

2.1.1. 변압기 손실 계산 방법

변압기의 손실은 IEC 61378 2에서 제시한 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$P_1^{(1)} = RI^2 + P_{WE1}^{(2)} + P_{SE1}^{(3)}$$

주1) Total load losses at fundamental frequency of converter transformer

주2) eddy losses in the windings at fundamental frequency of converter transformer

주3) Stray losses in Structural parts at fundamental frequency of converter transformer

또한, 전체 운전 손실은 = 무부하 손실 + 계산된 운전 부하 손실로 계산할 수 있다.

2.1.2. 밸브 손실

밸브 손실은 IEEE 1158 1991에서 제시한 다음과 같은 수식으로 계산한다.

$$V_{wT}^{(4)} = V_{w1}^{(5)} + V_{w2}^{(6)} + V_{w3}^{(7)} + V_{w4}^{(8)} + V_{w5}^{(9)} + V_{w6}^{(10)} + V_{w7}^{(11)} + V_{w8}^{(12)}$$

주4) Total load losses of valve

주5) Thyristor conduction losses of valve

주6) Thyristor spreading losses of valve

주7) Other valve conduction losses of valve

주8) "DC" voltage dependent losses of valve

주9) Damping losses of valve (damping resistor dependent)

주10) Damping losses of valve (change of capacitor energy)

주11) Turn off losses of valve

주12) Reactor losses of valve

2.1.3. 고조파 필터 손실

고조파 필터 손실은 IEC/TR 62001 에서 제시한 다음과 같은 수식으로 계산한다.

2.1.3.1 필터 커패시터 손실

$$P_c^{\text{주13)}} = \tan(\delta) \times \sum_{n=1}^{n=N} I_{cn}^{2\text{주14)}} \times X_{cn}^{\text{주15)}})$$

주13) Total losses of Filter capacitor

주14) Calculated current in the capacitor

주15) Capacitor reactance of harmonic order n

2.1.3.2 필터 리액터 손실

$$P_l^{\text{주16)}} = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{I_{ln}^{2\text{주17)}} \times X_{ln}^{\text{주18)}}}{Q_n^{\text{주19)}}}$$

주16) Total losses of filter reactor

주17) Calculated current in the reactor

주18) Reactor reactance of harmonic order n

주19) Reactor Q factor at harmonic order

2.1.3.2 필터 저항 손실

$$P_r^{\text{주20)}} = \sum_{n=1}^{n=N} I_{rn}^{2\text{주21)}} \times R^{\text{주22)}})$$

주20) Total losses of filter resistor

주21) Calculated current in the resistor

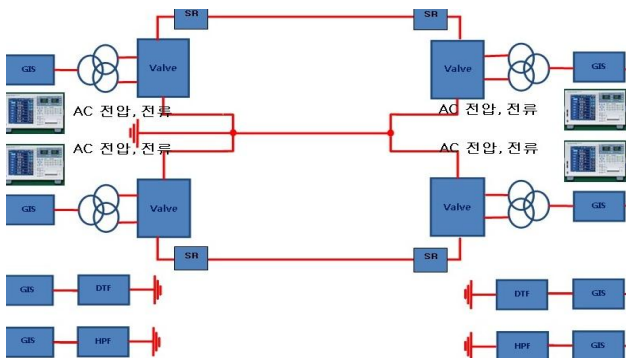
주22) Resistance in ohms at harmonic order n

2.2 HVDC 손실 계산의 문제점

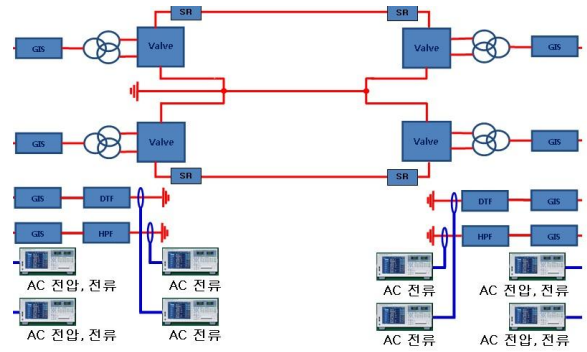
2.2.1 손실 계산의 문제점

손실 계산 방법은 구성품 (밸브, 변압기, 고조파 필터)의 손실의 합으로 표현되며, 이러한 방법으로 도출된 손실은 실제 발생하는 손실과의 차이가 있으며, 이 차이는 센서 오차, 부스바, 케이블 및 기타 구성 품에서 발생하는 손실 차이로 발생하며, HVDC 시스템의 정확한 손실을 알기 어렵다. 그러나, HVDC 시스템은 송전 시스템이기 때문에, 손실 및 가용율이 중요하며, 이는 안정적인 전력 수급을 해야 하는 시스템이기 때문이다. 이러한 이유로 당사에서는 [그림1]과 [그림2]와 같이 HVDC 시스템 손실에 대한 측정을 실시하였다.

2.2.2 손실 측정 위치



[그림 1. Pole 손실 측정 방법]



[그림 2. 고조파 필터 손실 측정 방법]

2.2.3 손실 측정 결과

상기 측정 방법으로 측정된 결과, 센서의 오차는 해결되지 않았으나, 계산 값보다 근접한 손실 측정치를 얻을 수 있었다.

3. 결론

HVDC 시스템은 전력 전송 시스템으로 실제, 시스템을 운전할 때 손실 측정은 반드시 필요한 부분이며, 이에 대한 측정 방안도 꾸준히 연구되어야 한다. 본 논문에서는, 이러한 손실 측정 방법을 개발하고, 측정을 실시하여, 그 방법을 제시하는 바이며, 연구를 통한 다양하고 보다 정확한 측정 방법을 위해 지속적으로 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] High Voltage Direct Current Handbook First Edition
- [2] IEC 61378 2 “Converter transformer Part2 : Transformers for HVDC applications” First Edition 2001 02
- [3] IEC/TR 62001 : 2003 “High Voltage Direct Current (HVDC) Systems Guidebook to the specification and design evaluation of a.c. filters“