

계통과도전압분석기를 이용한 직류송전선로의 과전압에 대한 기초적 해석

우정욱, 심정운, 곽주식
한전 전력연구원

The Basic Study on Overvoltage of HVDC Transmission Line Using TNA

Woo Jung-Wook, Shim Jeong-Woon, Kwak Joo-Sik
KEPRI (Korea Electric Power Research Institute)

Abstract – This paper describes the results of ground fault analysis on HVDC Transmission Line using TNA (Transient Network Analyzer). The maximum overvoltage is about 1.7 p.u. in the case of single line to ground fault on the overhead transmission line. When the cable is linked to the end of the overhead transmission line, the maximum overvoltage is about 1.58 p.u..

류는 직류송전 계통의 구성에 따라 다르다. 여기서는 직류송전계통의 과전압 해석의 기초단계로서 송전선로 지락씨지에 대해서 계통과도전압분석기를 사용하여 간략 모의해 보았다. 데이터는 일본의 한 전력회사의 실선로 데이터를 이용하여 가장 기본적으로 예상될 수 있는 선로를 모의하였다.

1. 서 론

직류송전은 장거리 대전력 송전이나 직류케이블 송전 혹은 비동기연계에 의한 계통간 연계나 주파수변환등에 적용되고 있다. 현재 우리나라에는 직류송전은 범용화되어 있지 않지만, 추후, 남북한 연계나 중국과의 연계 등을 고려할 때 언젠가는 직류송전 방식이 논의되어질 것이다.

직류송전계통에 있어서 과전압의 발생요인으로서는 크게 변환소의 교류측이 원인이 되는 것, 변환소 내의 사고가 원인이 되는 것, 직류선로의 사고가 원인이 되는 것으로 나눌 수가 있다. 그 중에서 변환소의 교류측이 원인이 되는 뇌씨지나 개폐씨지 등 통상의 교류계통에 있어서의 과전압 외에, 직류송전에서 특유한 과전압으로서는 변환기용 변압기의 투입시 과전압이나 교류 필터의 개폐에 의한 과전압 등이 있다. 직류선로의 사고에 의한 과전압은 뇌씨지 외에 송전선 지락시에 다른 상에 과전압을 발생시키는 지락씨지가 중요하다. 변환기 사고에 의한 과전압은 직류송전 계통에만 있는 것으로, 그 종류로서는 역변환기의 轉流실패 등이 있고, 全電壓起動이나 인버터 블록 사고 등도 중요한 요소이다.

이와 같이 직류송전 계통에 발생하는 과전압의 발생요인은 많지만 과전압의 크기나 파형 등의 종

2. 본 론

사용된 과전압 해석 시뮬레이터에서 직류송전선로 모의에 사용 가능한 선로를 표 1에 나타냈다. 이 선로모델을 이용하여 그림 1과 같이 가장 기본적인 송전선을 고려해 보았다. 그림에서 보듯이 교류 송전선에는 사용되지 않는 변환소와 필터 회로가 추가되었다. 사용된 필터의 특성은 그림 2와 같은 특성을 나타낸다. 송전선로에서 등간격으로 나눈 특정 지점에서 지락사고가 있었을 경우를 상정하고, 각 지점에서의 과전압을 측정하였다.

표 1. 계통과도전압분석기에서 모의 가능한 모델

	가공선 - 2 cct	110 km - 25 π
1	가공선 - 2 cct	55 km - 12 π
2	가공선 - 1 cct	55 km - 10 π
3	가공선 - 1 cct	55 km - 10 π
4	Cable - 2 cct	55 km - 8 π
5	Cable - 2 cct	55 km - 8 π

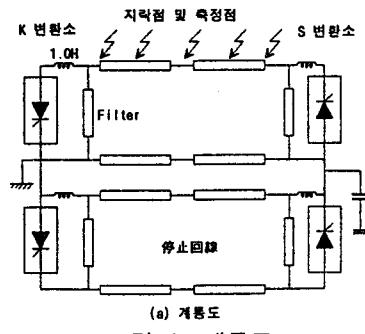


그림 1. 계통도

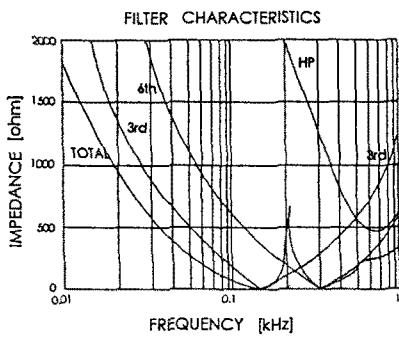


그림 2. Filter 특성 그래프

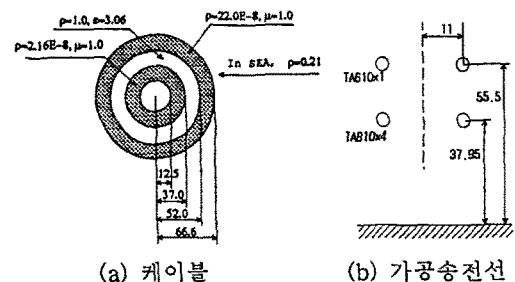


그림 3. 송전선 해석데이터 (단위 mm)

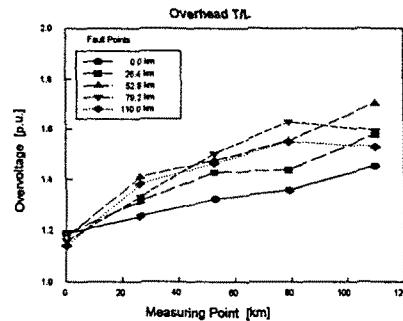
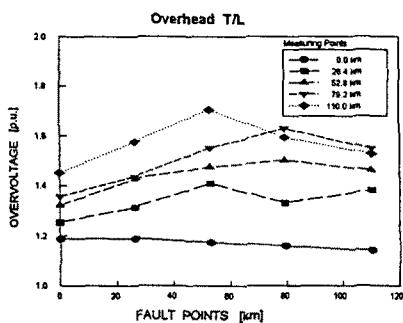


그림 4. 선로별 과전압 특성 (가공송전선)

2.1 모의 방법

송전선의 선로정수를 구하기 위하여 EMTP 계산에 사용된 값들이 그림 3에 나타나 있다. 케이블의 경우는 해저를 지나가며, EMTP에서 가공 송전선과 케이블 송전선의 선로 정수를 구하여, 계통과도 전압 분석기의 선로 모델에 이용하였다.

계통과도전압 분석기에서 각 위치별 전압측정에는 디지털 오실로스코프를 사용하였으며, 오실로스코프의 프로브는 10 대 1 프로브를 사용하였다.

선로전압은 500 kV_{DC}를 상정하였으며, 사고지점은 전체 선로중에서 등간격으로 적개는 A~E까지 5지점을, 많게는 7지점까지를 선정하였으며, 특정지

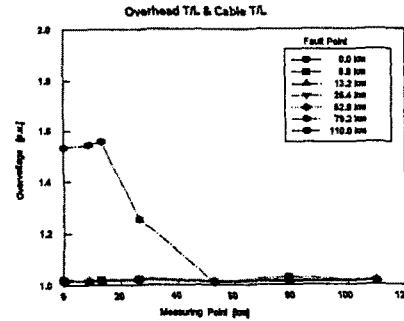
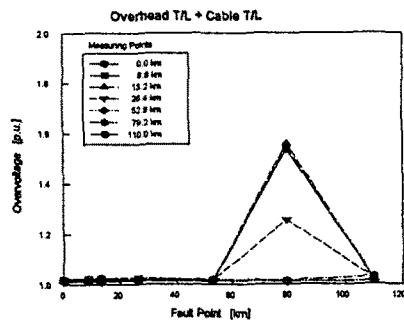


그림 5. 선로별 과전압 특성(가공송전선 + 케이블)

점에 지락이 발생했을 때, 전선로의 각 부분에서 과전압을 측정하였다. 오실로스코프에서 측정된 각 파형에 대해 바이너리로 되어 있는 데이터를 컴퓨터에서 읽어 들여, 각 지점에서의 최대값만을 찾아내기 위해 통계처리하였다.

2.2 모의 결과

그림 4는 송전선이 가공송전선만을 사용했을 경우에, 지락사고시의 위치별, 측정지점별 과전압의 크기를 그림으로 나타낸 것이다. 수전단이 개방단일 때에는 송전단에서 가장 먼지점인 수전단(110 km)에서 지락사고가 있었을 경우가 가장 높은 과

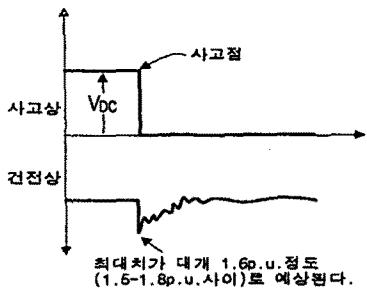


그림 6. 일반적인 해석 파형

전압을 발생시켰으나, 현실적으로 수전단에도 변환 소가 연결되어 있어서, 그림에서처럼 가장 끝부분이 아닌 선로의 중간부분에서 최대치를 찾아볼 수가 있었다. 또, 수전단의 중성점을 Surge Absorb로 C를 연결할 경우 최대과전압이 낮아지는 경향을 알 수 있었다. 즉, 선로의 중간부분인 52.8 km 지점에서 일선지락 사고가 있었을 때, 사고상인 아닌 전선상의 수전단인 110 km 지점에서 1.7031 p.u.의 과전압이 발생함을 알 수 있었다.

과전압과 측정점과의 관계를 지락지점에 대해 살펴보면, 그림 6의 두번째 그림과 같이 지락지점이 송전단쪽에서 멀어질수록 발생과전압은 커진다.

그리고, 그림 5는 송전선의 수전단측 절반을 가공송전선에서 케이블 송전선으로 대체하였을 때의 결과 그림이다. 가공송전선과 케이블선로의 선로 임피던스 크기가 차이 남으로 접합점에서 투반사가 일어나서, 그림과 같이 가공송전선 부분에서 최대과전압이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 사고지점을 보면 케이블송전선 부분에 지락사고가 있었을 경우에 가공송전선에서 최대과전압이 측정되고 있음을 알 수 있다. 즉, 케이블송전선로의 중간부분인 80 km 지점에서 일선지락 사고가 있었을 때, 전선상의 가공송전선부분의 중간부분에서 1.58 p.u.의 과전압이 발생하였다. 이 결과는 가공송전선만을 사용하였을 때보다, 케이블을 송전선으로 사용할 경우에 지락사고가 발생했을 경우 최대과전압을 약 0.12 p.u. 정도 저감시킬 수 있음을 보여준다.

이때, 선로에 나타나는 과전압의 파형이 그림 6에 나타나 있다. 사고가 나는 시점에 전선상에서 최대과전압이 발생하며, 대개의 값들이 1.6 p.u. 정도가 되며, 실선로를 모의한 결과들은 대개 1.5~1.8 p.u. 정도이었다.

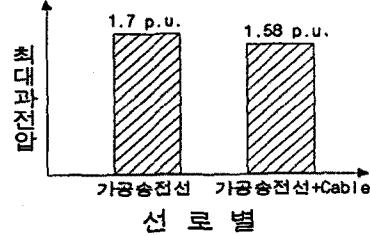


그림 7. 선로종류별 과전압

3. 결 론

직류 송전선로를 2회선 병행, 가공송전선과 cable 부분이 연결된 선로로 모의한 결과로, 2상 중에서 한상의 특정지점을 지락시키고 같은 각 지점에서 과전압을 측정하여, 그 데이터를 기준으로 최대치와 최소치를 구하기 위하여 통계 처리하였다.

가공송전선 만의 선로에서는 수전단의 영향으로 52.8 km 지점에서 사고가 있었을 때, 즉 선로의 가장 중앙부분에서 사고가 있었을 때, 측정지점이 110 km인 곳의 전선상에서 가장 가혹한 과전압(1.7032 p.u.)이 발생하는 것을 알 수 있었다.

가공송전선로 후미에 케이블선로가 연결되어 있는 경우에는 79.2 km 지점에서 사고가 있었을 때, 즉 케이블부의 중앙지점에 사고가 있었을 때, 가공송전선의 중앙부분인 13.2 km 지점에서의 사고상에서 가장 가혹한 과전압(1.58 p.u.)이 발생하는 것을 알 수 있다.

위의 두 결과 모두가 1.6 p.u.를 전후한 값을 나타내고 있으며, 그림 7과 같이 가공송전선쪽이 케이블이 후미에 연결된 선로보다 조금 더 가혹하게 나타남을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] 고전압직류케이블 시험연구위원회, “고전압직류 케이블 시험연구위원회 보고서”,
- [2] 우정욱, “뇌격파형 계측기술(공무국외여행 귀국 보고서)”, 전력연구원, 1996. 12
- [3] “발변전소 및 지중송전선의 내회설계기이드”, 전력중앙연구소, 종합보고, T40, 1996