

EMTP-RV를 이용한 케이블 선로에서의 개폐서지 분석

방승현*, 서훈철**, 여상민*, 김철환*, 유영식***, 조범섭***, 이청학****, 배민호****
 성균관대학교*, 기초전력연구원**, 한국전력거래소***, 한국전력공사****

Switching Surge Analysis of Cable Line using EMTP-RV

*S. H. Bang, **H. C. Seo, *S. M. Yeo, *C. H. Kim, ***Y. S. Yoo, ***B. S. Cho, ****C. H. Lee, ****M. H. Bae
 *Sungkyunkwan University, **KESRI, ***KPX, ****KEPCO

Abstract - 본 논문에서는 EMTP-RV를 이용하여 선로가압 시 발생하는 개폐서지에 대해 분석하였다. 신안산S/S~남안산S/S의 154kV 지중 케이블 2회선 실계통 선로 모델을 구성하여 부하단의 크기 변화에 따른 조건으로 시뮬레이션 하였으며 그 결과를 분석하였다.

1. 서 론

최근 도심지에 대한 급격한 전력 수요 증가로 인해 전력계통의 증설이 요구되고 있다. 이러한 지중 케이블 선로의 증가에 대한 전력계통의 효율적인 운용을 위해서 계통에서 발생하는 각종 과도현상에 대한 다양한 대책이 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 우선, 현재 국내 운전 중인 지중 케이블 선로의 실계통 데이터를 이용하여 EMTP-RV로 모델링 하였다. 그리고 케이블 선로의 초기가압 시 발생하는 과전압에 대하여 부하단의 크기 변화에 따라 시뮬레이션 하였으며, 그 결과를 분석하였다.

2. 케이블 선로

2.1 케이블 선로의 모델링

일반적으로 가장 효율적이고 정확한 선로 모델링 방법은 진행시간 τ 와 특성 임피던스 Z_c 에 기반을 둔 분포정수 모델을 이용하는 것이다. phase domain에서, 한 상에서의 전류는 상호 임피던스 때문에 다른 상에 전압을 유발한다. 반면에, modal domain에서 mode들은 상호 결합되어 있지 않기 때문에 계산을 더 쉽게 할 수 있다. 전류에 대한 modal 변환은 다음 식 1과 같다. modal 변환행렬에 대하여 가공선로는 거의 실수로 구성되지만, 케이블 선로는 허수부를 포함한다는 차이점이 있다.

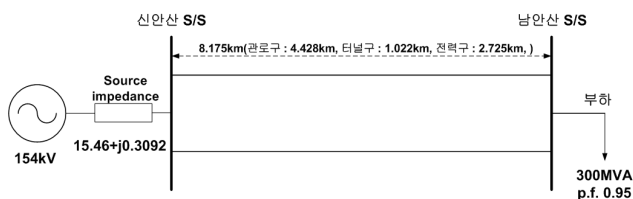
$$[I_{phase}] = [T_i][I_{mode}] \quad (1)$$

여기서, $[I_{phase}]$: 상전류 벡터
 $[T_i]$: 변환 행렬
 $[I_{mode}]$: modal 전류 벡터

분포정수 모델은 각 mode와 변환행렬로 구성되며, 각 mode는 특성 임피던스, 저항, 속도, 길이로 구성된다. 주파수 의존 분포정수 모델은 주파수에 대한 파라미터의 변화의 정보를 포함한다. 이것은 영상분이 포함될 때 중요한 고려사항이다. 이 경우에, 주파수 의존 분포정수 모델은 과도현상에서 발생하는 다양한 주파수 범위에 대하여 정확한 표현을 제공한다[1]. 특히, 케이블 선로의 연구에서 선로 모델은 케이블 파라미터가 광대역의 주파수 범위에서 나타날 수 있기 때문에, 반드시 주파수 의존 분포정수 모델로 모델링 되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 케이블 선로를 주파수 의존 분포정수 모델로 모델링하였다.

2.2 케이블이 연결된 실계통 모델

현재 운전 중인 신안산S/S~남안산S/S의 154kV 지중 케이블 2회선 실계통 선로에 대한 모델은 다음 그림 1과 같고, 케이블 전체 길이는 8.175km정도이며 부하는 300MVA 정도이다.



<그림 1> 신안산S/S~남안산S/S의 실계통 모델

2.2.1 케이블 선로의 제원

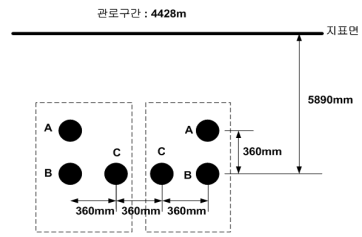
154kV의 케이블은 CV XLPE 2000mm² 2회선이며 케이블의 길이는 8.175km이다. 케이블 환경은 주파수가 60Hz이고 대지저항은 0~15Ω이며 동축 케이블 수는 2회선 6개이다. 그 제원은 다음 표 1과 같다

<표 1> 154kV CV XLPE 2000mm² Cable의 제원

	내반경 (mm)	외반경 (mm)	저항율 (nΩ·m)	온도 계수	비 투자율	외부의 비유전율	최외각 반경 (mm)
심선	0	27.5	17.241	0.00393	1	2.3	70
사이즈	58.4	61.3	28.4	0.00403	1	2.5	

2.2.2 케이블의 기하학적 배치

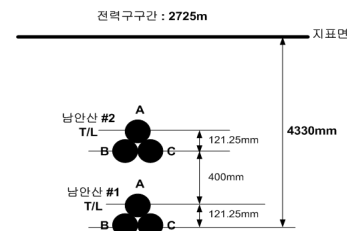
케이블은 관로구간, 전력구 구간, 터널구간으로 나뉘어져 있다. 가) 관로구간(4428m)
 관로구간에서의 케이블의 기하학적 배치는 다음 그림 2와 같다.



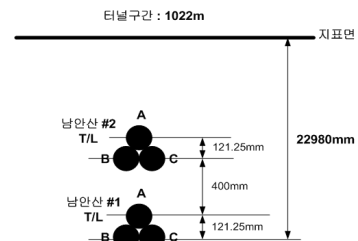
<그림 2> 관로구간에서의 기하학적 배치

나) 전력구 구간(3747m)

전력구 구간은 전력구 구간 2725m와 터널구간 1022m로 나뉘어져 있으며, 각각의 기하학적 배치는 다음 그림 3, 4와 같다.



<그림 3> 전력구 구간에서의 기하학적 배치

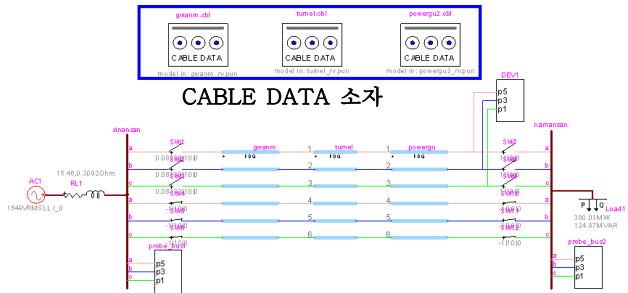


<그림 4> 터널구간에서의 기하학적 배치

3. EMT-P-RV를 이용한 시뮬레이션

3.1 실제 모델의 구현

그림 1의 실제 모델 모델을 EMT-P-RV를 이용하여 구현하면 다음 그림 5와 같다. 그림의 상단은 케이블 모델링을 위한 CABLE DATA 소자로서, 이것을 이용하여 케이블을 모델링할 수 있다.



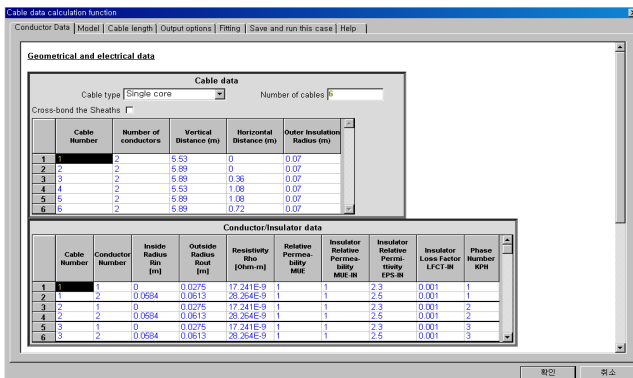
<그림 5> EMT-P-RV를 이용하여 구현한 실제 모델

3.1.1 케이블 선로 모델링[2]

케이블의 제원 및 기하학적 위치 입력은 CABLE DATA를 이용하여 다음 그림 6과 같이 입력할 수 있다. Conductor Data 창에서 Cable type에는 단심 동축 케이블(Single core coaxial cables)을 선택하고 Number of cables에는 케이블의 수를 입력하며 케이블의 연가 여부에 따라 Cross-bond Sheaths를 check 한다.

기하학적 위치 입력의 경우 Cable Number에는 전체 케이블 시스템에서의 수를 입력하고 Number of Conductors에는 케이블에서 도체의 수를 입력하며 Vertical Distance(m)에는 지표상에서 케이블의 중심까지의 깊이, Horizontal Distance(m)에는 임의의 기준점에서 케이블의 중심까지의 거리, Outer Insulation Radius(m)에는 케이블을 둘러싸고 있는 절연층의 외부 반경을 각각 입력한다.

Conductor/Insulator data창에서 Inside Radius R_{in} [m]에는 도체의 내부 반경, Outside Radius R_{out} [m]에는 도체의 외부 반경, Resistivity Rho [Ohm-m]에는 도체의 저항율, Relative Permeability MUE에는 도체의 상대 투자율, Insulator Relative Permeability MUE-IN에는 절연체의 상대 투자율, Insulator Relative Permittivity EPS-IN에는 절연체의 상대 유전율, Insulator Loss Factor LFCT-IN에는 절연체의 Loss factor, KPH에는 도체의 상 번호를 각각 입력한다. Model 창에서 주파수 의존 케이블 모델인 FD를 선택하며, Cable length 창에서 케이블의 길이 및 대지저항 등을 입력함으로써 케이블 선로를 모델링할 수 있다.



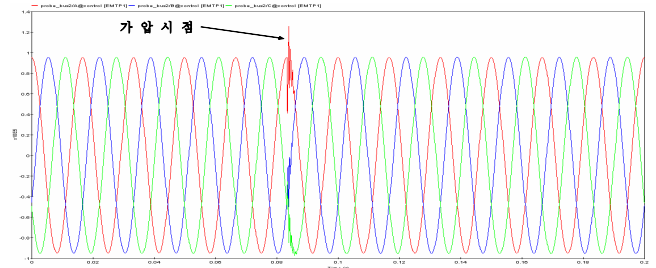
<그림 6> CABLE DATA에서 케이블의 제원 및 기하학적 위치 입력

3.2 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 선로의 편단가압에 대하여 모의하였다. 신안산S/S~남안산S/S #1 T/L의 남안산S/S측은 개방된 상태로 두고 신안산 S/S측을 투입하는 것으로 가정하였으며, #2 T/L은 운전 중인 것으로 가정하였다. 이때, 부하단의 크기를 변화(100MVA~500MVA) 시키면서 계통을 모의하였으며, 부하의 역률은 0.95로 동일하게 설정하였다. 또한, 투입위상각은 A상 기준으로 90°로 설정하였다.

3.3 시뮬레이션 결과

신안산 S/S~남안산 S/S구간에서 남안산 #1 T/L의 신안산 측 초기가압 시 남안산 S/S에서의 전압은 다음 그림 7과 같다. 투입직후 진행과로 인한 서지가 발생하였으며, 1cycle 이후 서지가 사라진 것을 확인할 수 있다.



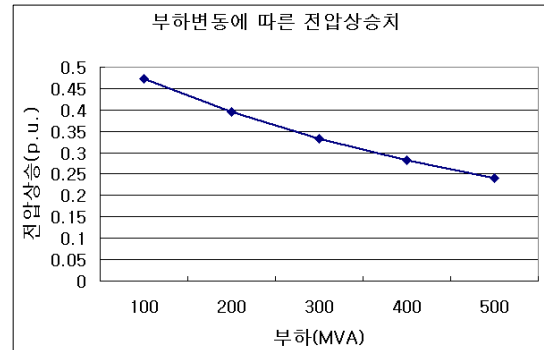
<그림 7> 초기가압 시 남안산S/S측에서의 모의 결과

남안산S/S #1 T/L의 초기가압에 대하여 다양한 조건에 대한 시뮬레이션 결과는 다음 표 2와 같다. 초기가압 이후 가압 선로의 전압은 부하가 100MVA일 때, 최대 1.41p.u까지 상승하였으며 이때, 가압 이전에 비하여 전압이 0.47p.u 상승하여 이 경우에 전압상승이 가장 큰 것을 알 수 있다.

<표 2> 다양한 조건에 대한 시뮬레이션 결과

부하 (MVA)	가압 이전 전압 (p.u)	가압 이후 전압 최대값 (p.u)	전압 상승치 (p.u)
100	0.941046	1.41408	0.473034
200	0.887400	1.28353	0.396130
300	0.839382	1.17297	0.333588
400	0.796163	1.07862	0.282457
500	0.757079	0.99744	0.240361

다음 그림 8은 부하변동에 따른 전압 상승치를 나타낸 것이다. 그림 8에서 나타난 것과 같이 가압선로의 선로 길이 및 투입위상각이 일정한 경우, 선로의 초기가압으로 인한 전압 상승치는 부하가 작을수록 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.



<그림 8> 부하변동에 따른 전압 상승치

4. 결 론

본 논문에서는 여러 과도현상 중 선로 초기가압 시 발생하는 개폐서지에 대해서 EMT-P-RV를 이용하여 모의 하였으며 선로 부하단의 크기에 따라 전압상승치가 달라질 수 있음을 확인 하였다.

GUI 방식의 EMT-P-RV는 이전의 EMT-P에 비해 다양한 원인의 과도현상을 손쉽게 모의할 수 있다. 따라서 본 논문에서 소개한 EMT-P-RV를 이용한 케이블 모델링 및 초기가압 모의 결과를 바탕으로, 전력요구 증가에 따른 케이블 선로 증설 시 발생 가능한 과도현상을 감소시킴으로서 계통의 효율성 및 안정적인 전력공급에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] DW Durbak, "Modeling guidelines for switching transients, modeling and analysis of system transients", IEEE PES special publication, 1998
 [2] DCG-EMTP(Development coordination group of EMT-P) Version EMT-P-RV, Electromagnetic Transients Program. [Online]. Available : <http://www.emtp.com>