

EMTP를 이용한 개폐서지 분석 및 선로 모델의 영향

임 수 빈 여 상 민 김 철 환
성균관대학교

Analysis of Switching Surge and Effect of Line Models using EMTP

S.B. Yim S.M. Yeo C.H. Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 양질의 전력을 요구하는 경향으로 인해 과도현상이 높은 관심의 대상이 되고 있다. 스위치를 개방 후 반 사이클 후에는 스위치 양극간 전압은 발전기 전압 첨두치의 2배가 된다. 본 논문에서는 EMTP에서 제공하는 선로모델 중 비연가 선로와 연가선로를 이용하여 개폐서지와 선로모델과의 관계를 모델링 하였다. 송전단 측에서는 스위치 개방 후 두 선로모델 사이의 전압 파형에는 큰 차이가 없었으나 수전단 측에서는 두 선로모델 간에 현저한 차이를 보여주었다.

1. 서 론

전기적 외란에 민감한 설비의 급증으로 인하여 전력회사 측에서는 전력공급에 대한 신뢰도의 향상이 요구되어지며, 수용가 측에서는 양질의 전력을 요구하는 경향이 고조되고 있는 실정이다. 이런 상황에서 배전시스템에서의 커패시터 뱅크의 개폐, 선로사고 및 일상적인 차단기 개폐로 인해서 발생하는 과도현상이 높은 관심의 대상이 되고 있으며, 이에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

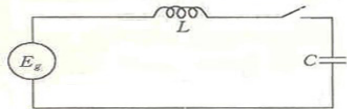
순간전압강하와 개폐서지로 인한 전기품질 저하는 수용가 설비에 직접적인 피해를 입히며, 전자제품의 정지 및 오동작을 초래할 수 있다. 따라서 적당한 재투입 방식의 선정과 전기품질의 향상을 위해서 배전시스템에서의 재투입으로 인한 과도현상은 연구되어야 한다[1].

전력계통의 선로는 선로길이와 구성형태 등에 따라 다양한 모델로 표현될 수 있으며, 각 선로 모델은 각자의 특징을 지니고 있다.

2. 본 론

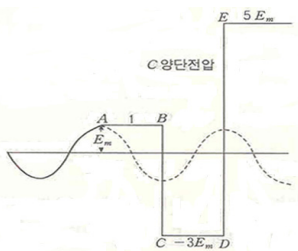
2.1 개폐이상전압(Switching Surge)

전선로의 차단기를 개폐할 때 발생하는 이상전압은 선로의 급격한 변화를 주고 경우에 따라 큰 이상 전압이 될 때도 있는데 일반적으로 회로를 투입할 때가 개방할 때보다, 또 큰 부하를 걸고 있는 회로를 개폐하는 때보다 무부하시의 회로를 개방하는 경우에 높은 이상 전압을 발생하게 된다. 이중 가장 큰 이상 전압이 발생하는 경우는 무부하 송전선로의 충전 전류를 차단할 때이다. 이 경우 송전선을 콘덴서로 대치하여 등가적으로 단상회로로 표시하면 다음 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 무부하 송전선로 등가 모델

다음 그림 2는 그림 1에서 스위치를 조작할 때의 전압 파형이다.



〈그림 2〉 개폐이상전압

스위치가 투입된 정상적인 상태에서 콘덴서 C의 양단에서 점선의 발전기 전압 E_g 가 가해진다. 점 A에서 스위치가 개방되면 A점 전압에 상당한 전하가 콘덴서에 남는다. 따라서 스위치 양단전압은 발전기 전압과

콘덴서의 전하에 의한 전압과의 대수적 합이 된다. 예컨대, 스위치 개방 후 반사이클 후에는 스위치 양극간 전압은 발전기 전압 첨두치(E_m)의 2배가 된다.

A에서 개방된 스위치를 B에서 투입하면 $+E_m$ 으로 충전된 콘덴서 전압이 $-E_m$ 으로 되려고 하지만 회로의 인덕턴스나 관성 때문에 이것을 지나치게 되고 다른 계동작용이 없으면 $-3E_m$ 까지 내려간다. 이때 스위치를 또 개방하면 콘덴서는 $-3E_m$ 에 상당하는 전하를 보유하게 된다. 스위치가 D에서 재차 투입되면 콘덴서 전압은 같은 이유로 $+5E_m$ 까지 이른다.

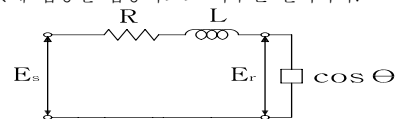
이상과 같이 스위치의 투입에 따라 전압은 1, 3, $5E_m$...로 증대되고 계동이 없으면 한없이 증가할 것이다.

일반적으로 차단기 내의 제점호 현상으로 차단기의 개방서지가 투입서지보다 크다. 또 무부하 회로를 개방하는 것이 높은 이상전압을 발생한다. 무부하 송전선에서는 차단시 충전전류가 전압보다 약 90도 앞서고 있기 때문에 차단하여 전류가 영이 된 순간에 전압은 최대가 된다. 그래서 차단기의 개폐속도가 충분히 빠르지 않으면 차단기 양극간의 전압에 의해서 극간 절연이 파괴되어 제점호가 생긴다[2].

2.2 송전선로 모델

2.2.1 단거리 송전선로

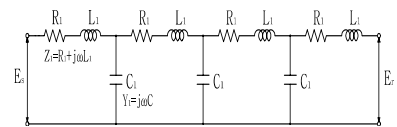
전선로의 길이가 20~30[km] 정도의 단거리 송전선에는 누설 인덕턴스와 정전용량을 무시하고, 다음 그림 3에 나타낸 바와 같이 저항과 인덕턴스가 한곳에 집중된 집중회로로 다루면 편리하다.



〈그림 3〉 단거리 송전선로 모델

2.2.2 중거리 송전선로

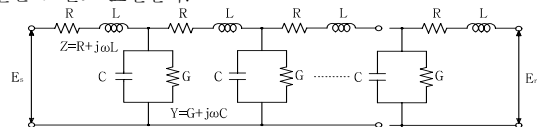
송전 선로의 길이가 50~100[km] 정도에서는 누설 컨덕턴스는 무시할 수 있으나 정전용량의 영향은 무시할 수 없다. 따라서 정전용량은 선로에 고르게 분포되어 있으나 취급하기가 어려우므로 전 어드미턴스 Y를 전부 중앙에 집중해 있다고 생각하는 것과 송수 양단에 Y/2씩 집중해 있는 것으로 생각하여 T회로 및 π 회로로 해서 계산해도 된다. 다음 그림 4는 중거리 송전선로 모델을 표현한 것이다.



〈그림 4〉 중거리 송전선로 모델

2.2.3 장거리 송전선로

송전 선로의 길이가 100[km]정도 이상이 되면, 집중 정수 회로로 취급하면 오차가 커지므로, 선로 정수가 선로를 따라서 균일하게 분포된, 분포정수 회로로 생각하지 않으면 안된다. 장거리 송전선로는 다음 그림 5와 같은 모델로 표현한다.



〈그림 5〉 장거리 송전선로 모델

2.3 EMTP 선로 모델

EMTP에서는 선로 모델링을 위해 다양한 선로모델을 제공한다. 크게 Constant-parameter model과 주파수 의존 모델로 구분되며 상세한 분류는 다음과 같다.

2.3.1 선로모델의 종류

1) Constant-parameter model

- a) 정상 집중정수 선로
- b) 역상, 영상 집중정수 선로
- c) π 등가 선로
- d) 분포정수 연가 선로
- e) 분포정수 비연가 선로

2) 주파수 의존 모델

- a) Meyer-Dommel 선로
- b) Semlyen 선로
- c) Marti 선로

2.3.2 전송선로 모델의 요약

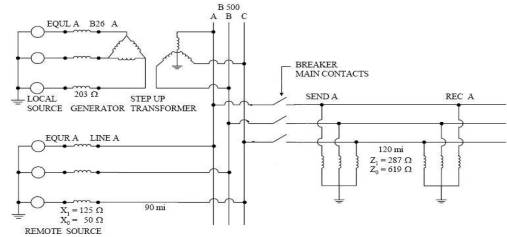
위에서 언급한 모델 중 본 논문에서 비교, 검토할 분포정수 연가모델과 분포정수 비연가 모델에 대해 특징을 요약하면 다음과 같다.

- a) 분포정수-주파수-독립 연가 선로모델
 - 일반적인 교육용에 적합하다.
 - 너나 고주파의 진행과를 해석하는데 중요하다.
 - 일반적인 선로 데이터를 사용할 수 있다.
- b) 분포정수-주파수-독립 비연가 선로모델 (K.C.Lee Model)
 - 높은 지락저항의 불균형 회로이다.
 - 일반적인 교육용에 적합하다.
 - 진행과 해석에 사용한다.

3. 시뮬레이션 및 결과

3.1 모델 계통

본 논문을 수행하기 위해 다음 그림 6과 같은 두 개의 전압원, 집중선로, 분포선로, 변압기, 스위치가 존재하는 계통을 구성하였다.



<그림 6> 시뮬레이션 계통도

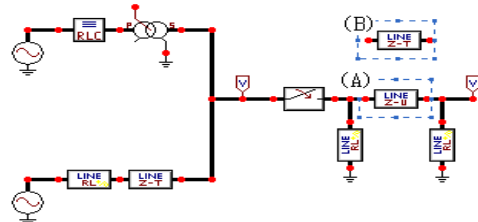
위의 계통에 대한 parameter 값들은 다음 표 1과 같다.

<표 1> 계통도에 따른 parameter

		저항[Ω /km]	서지 임피던스[Ω]	전파 속도[m/sec]
비연가 선로	영상분	0.5662	638.7	13040000
	정상분	0.028	291	18280000
	역상분	0.032	277	18180000
연가 선로	영상분	0.564	641	13030000
	정상분	0.0294	283.5	18230000

3.2 ATPDRAW로 구현한 계통도

다음 그림 7은 상기의 모델 계통을 ATPDRAW로 구현한 것이다.



<그림 7> ATPDRAW로 구현한 모델 계통

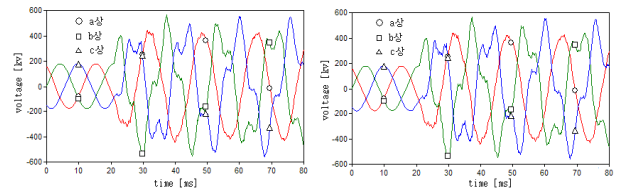
비연가선로는 점선안의 (A)선로로, 연가선로는 (B)선로로 바꾸어 구현하였다.

3.3 시뮬레이션 결과

3.3.1 송전단 파형

다음 그림 8은 송전단 전압의 파형을 표시한 것이다. 스위치를 개방한

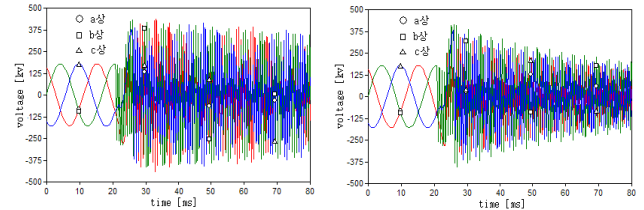
후 과전압이 발생하여 전압이 2배 이상 커지는 것을 볼 수 있다. 비연가 선로와 연가선로와의 전압파형은 큰 차이는 보이지 않는다.



(a) 비연가 선로 (b) 연가 선로
<그림 8> 송전단 전압 파형

3.3.2 수전단 파형

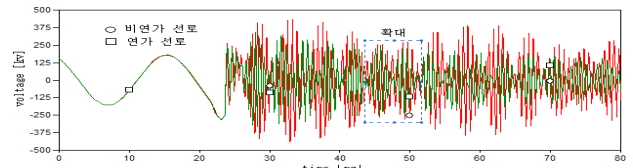
다음 그림 9는 수전단 전압의 파형을 표시한 것이다. 스위치의 개방 후 양 선로모델에는 큰 고주파 성분과 과도상태가 나타났다. 비연가 선로에서는 시간이 지나면서 과도상태의 크기가 아주 미약하게 줄어드는 반면 연가 선로에서는 시간이 지나면서 과도상태의 크기가 현저하게 줄어들음을 볼 수 있다.



(a) 비연가 선로 (b) 연가 선로
<그림 9> 수전단 전압 파형

3.3.3 파형 비교

다음 그림 10은 수전단 전압중 비연가선로와 연가선로의 a상 파형과 a상 파형 중 일부분을 확대하여 본 파형이다.



(a) 비연가 선로와 연가선로 a상 파형

(b) (a)를 부분 확대한 파형
<그림 10> 양 선로 수전단 a상 전압 파형

대지에 연결된 유도성 통로(병렬보상회로)로 인해 병렬 보상회로에서 선로의 무압이 발생하였고 선로 무압에 의해서 나타나는 파형을 Ringing 현상 또는 Ring down 이라고 한다.

비연가 선로가 연가선로보다 좀 더 정현파에 가까운 파형을 보이고 있다.

4. 결 론

스위치를 개방한 후 송전단과 수전단에 전압이 2배 정도로 크게 상승하였고 수전단 측에서는 두 선로모델 간에 Ringing 현상이 발생하였음을 알 수 있었다. 선로모델에는 여러 가지가 있는데 연가와 비연가에 따라 수전단 전압 크기의 차이, 전압변동 경향이 뚜렷하게 차이가 남을 볼 수 있었고 선로모델 모의를 위해서는 적절한 선로모델의 선택이 중요함을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] 김재철, 임성정, 오정환, “배전시스템에서의 파라미터에 따른 과도현상 분석”, 조명·전기설비학회지, Vol. 11. No. 3, pp. 88~96, 1997. 6.
[2] 문광명, 최종규, 송현직, 전력공학, pp. 422~424, 2004.