

## EMTP의 선로 모델의 비교분석에 관한 연구

오광운, 여상민, 김철환  
성균관대학교

### A Study on the Analysis of Line Constants Model in EMTP

Kwang-Wun Oh, Sang-Min Yeo, Chul-Hwan Kim  
Sungkyunkwan University

**Abstract** - 전력계통에는 수많은 기기가 복잡하게 연계 되어있으므로 지락사고가 일어났을 때 피해의 정도가 크다. 그래서 선로 모델링이 중요한데 선로 모델에는 많은 모델이 있기 때문에 각각의 모델들의 특성을 먼저 알아야한다. 그래서 본 논문에서는 몇 가지 선로 모델을 이용하여 모의 하여 결과를 비교해 보았다. 모의 Tool로는 EMTP/ATPDRAW를 이용하였고, 모의한 선로 모델은 Bergeron 비연가 모델, 연가 모델과 PI 등가 모델, 분포정수 모델을 이용하여 당진에서 신안성까지의 송전선로를 모델링하였다. 정상상태 일 때와 A상에서 지락사고가 일어났을 경우를 가정하고 모의하여 과형을 비교하였다.

#### 1. 서 론

전력계통에는. 수많은 발전소, 변전소, 송배전설비 및 부하설비가 서로 복잡하게 연계되어 있기 때문에 전력계통의 어느 지점에서 고장이 발생하였을 경우 신속하게 이 고장 구간을 계통으로부터 분리시키지 않으면 과도한 고장 전류가 흐르고, 이상 전압이 발생하거나 위상이 변동되어서 전력설비는 크게 손상될 뿐만 아니라 고장이 인접 구간으로 과급되어 사고의 범위가 확대되어 나간다. 특히, 초고압 송·변전설비 또는 대용량 발전기로의 과급이 연쇄적으로 진전될 경우 전력계통 붕괴의 위험이 따르게 된다.[1]

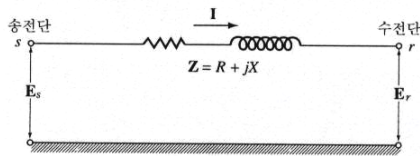
위험이 굉장히 크기 때문에 전력 계통을 설계할 때는 선로를 미리 모의 모델링 하는 것이 굉장히 중요하다. 이런 선로 모델링을 할 때는 고려해야 할 것이 어떤 송전선로 모델을 사용해야 하는 것이다. 선로모델에는 많은 종류가 있고 각각의 모델마다 특징이 다르기 때문에 설계할 계통에 알맞은 모델을 선택해야 한다.

#### 2. 송전선로 모델

##### 2.1 거리에 따른 선로모델의 종류

##### 2.1.1 단거리 송전선로

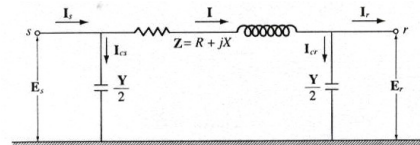
선로의 길이가 20~30[km] 정도인 단거리 송전선로에서는 정전용량 및 누설 컨덕턴스의 크기가 아주 작으므로 이를 무시하고 다음 그림 1과 같이 저항 R과 인덕턴스 L만을 생각하는 집중정수 회로로 다루면 편리하다.



<그림 1> 단거리 송전선로 모델

##### 2.1.2 중거리 송전선로

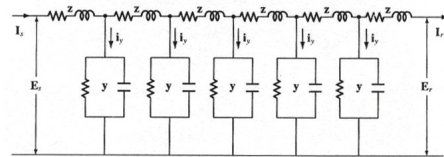
선로의 길이가 30~100[km] 정도인 중거리 송전선로에서는 정전용량의 영향을 무시할 수 없으므로 저항 R, 인덕턴스 L과 정전용량 C를 고려해야 하며, 선로의 직렬 임피던스 Z 및 병렬 어드미턴스 Y의 배치모양에 따라서 T형 또는 PI형 회로의 두 가지 등가회로로 생각할 수 있다. 다음 그림 2는 PI형 등가회로를 나타낸 것이다.



<그림 2> 중거리 송전선로 모델(PI형 회로)

##### 2.1.2 장거리 송전선로

송전선로의 길이가 100[km] 이상이 되면 집중정수 회로로 취급할 경우 오차가 크게 되므로, 다음 그림 3과 같이 선로정수가 전선로에 따라 균일하게 분포되어 있는 분포정수 회로로 생각하여 취급한다.



<그림 3> 장거리 송전선로 모델

#### 2.2 EMTP 선로 모델

EMTP에서는 선로 모델링을 위해 다양한 선로모델을 제공한다. 크게 주파수 독립 모델과 주파수 의존 모델로 구분되며 본 논문에서는 비교, 검토할 Bergeron 비연가, 연가모델, PI 등가 선로모델과 분포정수 선로 모델에 대한 특징을 요약하면 다음과 같다.

##### 2.2.1 Bergeron 비연가 모델

- 주파수 독립모델로서 KCLee 모델이라고도 한다.
- 주파수에 의존한 손실 또는 대지귀로 효과를 표현할 수 없다.
- 저주파수 또는 정상상태 해석에 적절하다.

##### 2.2.2 Bergeron 연가 모델

- 주파수 독립모델로서 Clarke 모델이라고도 한다.
- 주파수에 의존한 손실 또는 대지귀로 효과를 표현할 수 없다.
- 선로 평형이 중요시되는 저주파수 해석에 적절하다.

##### 2.2.3 PI 등가선로 모델

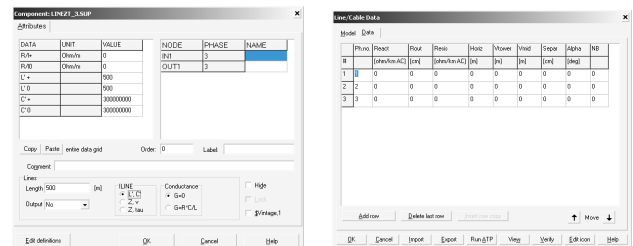
- 중거리 선로모델이며 주파수 의존 손실을 표현할 수 없다.
- 계산상 비능률적이고 높은 주파수의 진동이 발생할 가능성이 있다.
- 60[Hz]에서 정상상태 계산이 가능하며 짧은 선로에 이용된다.

##### 2.2.4 분포정수 선로모델

- 장거리 송전선로 모델이며 주파수 독립모델이다.
- 정상분 및 영상분 선로정수 표현이 가능하다.
- 일반적인 선로 데이터를 사용할 수 있다.

#### 2.3 EMTP 선로모델 입력방법

다음 그림 4-(a)과 같이 정상분과 영상분의 송전선로 임피던스를 직접 입력하거나 다음 그림 4-(b)와 같이 LCC를 이용하여 전선 각 도체의 상대적 위치, Size와 다도체 또는 대지에 연결되어 있는지 여부를 입력하여 모델을 만들 수 있다. 본 논문에서는 첫 번째 방법으로 분포정수 선로 모델을 표현하였고, 두 번째 방법으로 Bergeron 연가, 비연가 모델과 PI 등가모델을 표현하였다.



(a) 분포정수선로 입력

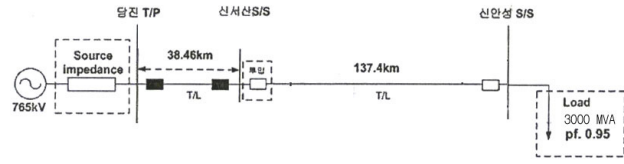
(b) LCC 선로 입력

<그림 4> EMTP 선로모델 입력방법

### 3. 시뮬레이션 및 결과

#### 3.1 모델 계통

본 논문을 수행하기 위해 다음 그림 5와 같은 하나의 전압원, 분포선로, 스위치, 부하가 존재하는 계통을 구성하였다.



〈그림 5〉 시뮬레이션 계통도

위의 계통에 대한 Parameter 값들은 다음 표 1과 같다.

〈표 1〉 모델계통의 선로정수

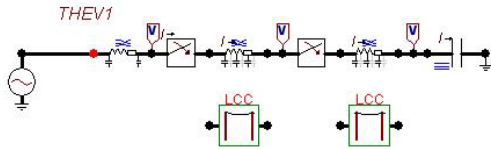
FROM	TO	정상분[%/km]	영상분[%/km]	어드미턴스[ $\mu$ S]
당진	신서산	0.0078+j0.2187	0.0856+j0.5344	j110.1
신서산	신안성	0.0275+j0.7636	0.3037+j1.887	j394.5

LCC로는 다음 표 2에서 제시한 감심 알루미늄 연선(ACSR)의 제원을 입력하였다.

〈표 2〉 ACSR 480mm<sup>2</sup> CARDINAL의 제원

내경[mm]	외경[mm]	저항[ $\Omega$ /km]	소도체수	소도체간격[cm]	소도체사이각[°]
10.14	30.42	0.0599	6	40	30

다음 그림 6은 ATPDRAW로 구현한 계통도로 분포정수 모델은 위의 선로를 이용하고, Bergeron 비연가, 연가 모델과 PI 등가 모델은 아래의 LCC를 이용하여 구현하였다.

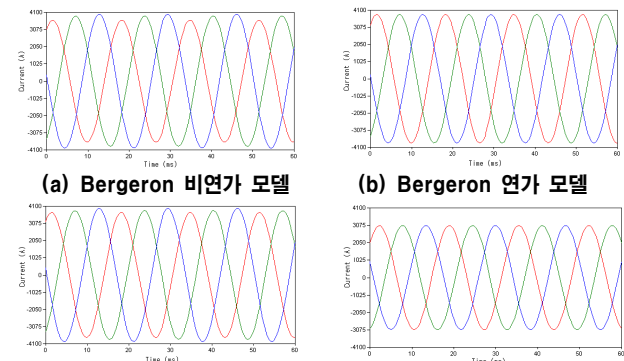


〈그림 6〉 ATPDRAW로 구현한 모델 계통

#### 3.2 시뮬레이션 결과

##### 3.2.1 정상상태 파형

다음 그림 7은 신서산 S/S를 지나서 측정된 전류의 파형을 표시한 것이다. 전압파형은 네 모델 다 크게 다르지 않게 나왔지만 전류 파형은 약간씩 다르게 나왔다. Bergeron 비연가 선로모델과 PI 등가 선로모델은 연가가 되어있지 않아서 상들 간에 불균형이 생김을 알 수가 있고, 분포정수 선로모델은 연가가 되어있지만 다른 모델에 비해 전류가 매우 낮게 측정이 됨을 알 수가 있다.



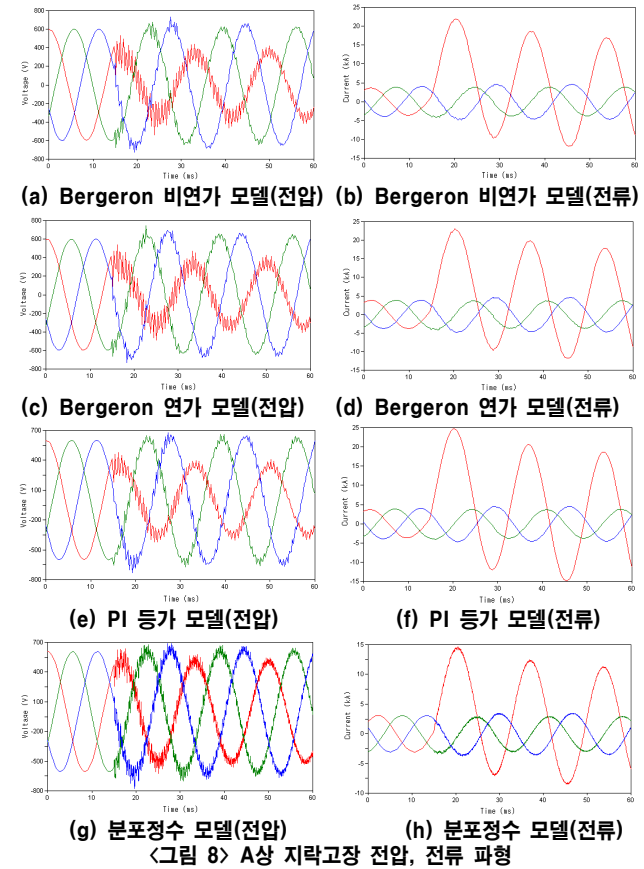
〈그림 7〉 정상상태 전류파형

##### 3.2.2 A상 지락고장 파형

A상에 지락고장이 일어났을 때 선로 모델들 간의 차이를 알아보았다. 고장 지점은 신서산에서 신안성 쪽으로 50[km] 떨어진 곳으로 하였다. 또한 지락고장이 일어났을 때의 고장 발생 각에 따라 0°일 때는 DC성분이 강하고 고주파 성분이 약하며 90°일 때는 고주파 성분이 강하고 DC성분이 약하게 나온다. 그래서 다음 그림 8은 그 중간인 고장 발생 각이 45°일 때 신서산 S/S 이후에 측정된 전압과 전류파형이다. 파형 왜곡의 정도는 PI등가모델이 가장 적고 Bergeron 비연가, 연가 모델이 비슷한 결과가 나왔고 제일 심한 것은 분포정수 회로이다. 또한 다른 세

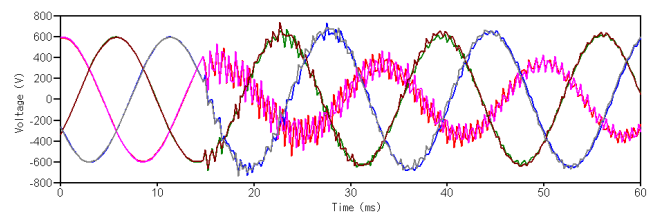
모델은 A상의 전압이 많이 감소했는데 분포정수 모델은 그 감소의 정도가 크지 않았다.

전류의 파형은 거의 비슷하게 나왔는데 고장이 일어난 시점에서 최대 전류가 흐른 후 주기가 지날 때마다 지속적으로 감소하는 것을 알 수 있었다.



〈그림 8〉 A상 지락고장 전압, 전류 파형

다음 그림 9는 보기에 가장 비슷해 보이던 Bergeron 비연가, 연가 모델을 겹쳐 보았다. A상의 경우 두 모델이 거의 같은 파형이 나오지만 B, C상은 흔들리는 것이 약간 다른 것을 알 수 있다.



〈그림 9〉 Bergeron 비연가, 연가 모델 비교파형

## 4. 결 론

전체적으로 봤을 때, 이 네 가지 모델 중에서는 입력방법이 달랐던 분포정수 모델이 다른 세 가지 모델과 가장 다른 결과가 나왔다.

정상상태에서는 전류의 크기가 큰 차이를 보였고 지락 고장시 파형에서는 A상의 전압의 크기가 가장 큰 차이를 보였다. 그리고 PI등가 모델의 경우에는 중거리 선로모델이기 때문에 정전용량을 고려를 안 하기 때문에 지락 고장시 파형의 변화가 가장 적었다. Bergeron 모델은 비연가와 연가 모델이 약간의 차이를 보였지만 크지 않았고 중간 정도의 왜곡 정도를 보였다.

이렇듯 선로모델들 간에는 전압의 크기나 파형의 왜곡정도가 차이가 남을 알 수 있었고, 선로모델 모의를 위해서는 적절한 선로모델의 선택이 중요함을 알 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

[1] 남계경, “고장 사고시 전류의 흐름과 보호 계전기의 회로 점검 방법”, 조명-전기설비학회지, 제16권 제3호, pp 46~53, 2002. 6.  
 [2] 이종범, 유인근, 설용태, 황갑주, 전력전송공학, pp78~86, 2007