

**EMTP를 이용한 뇌씨지 발생시 가공송전선로 등가모델 구현 및 해석**

이 완 석, 이 선 호, 고 광 철  
한양대학교

**Equivalent circuit modelling and analysis using EMTP  
in case that lightning surge happens to transmission line**

W. S. Lee, S. H. Kim, K. C. Ko  
Han Yang Univ.

**Abstract** - EMTP 프로그램으로 뇌씨지 발생시 가공송전선로 등가모델 구현을 위한 필수적인 요소들과 비선형 요소들을 시간영역에서 해석이 가능하다. 따라서 이번 연구에서는 EMTP를 이용하여 전력전송이 이루어지는 가공 송전 선로 등가모델을 구현하고 전송선로의 길이와 굵기, 뇌격전류의 크기를 변화시켜가면서 시뮬레이션을 통해 자료를 얻는다. 이 과정으로 얻어진 결과는 송전계통의 설계에 사용되어 안정적인 전력 전송에 적용될 수 있을 것이다.

크 154kv, 60Hz의 AC Source를 3상으로 연결하였고 Generator에서의 손실은 상대적으로 작은 저항은 제외하고  $L=1mH$ 만을 각각의 상에 고려하였다.

Load는 가장 많이 이용되는 전동기 부하로 가정하여  $R=10\Omega$   $L=1mH$  로써 나타내었다.



**1. 서 론**

전력 전송에서 도시의 미관과 뇌, 풍수해에 대한 높은 신뢰도로 인해 가공 송전선로와 함께 선호되던 지중 송전선로는 건설과 보완의 어려움 및 최근에 대두된 지진 발생의 위협 등의 여러 불안 요소를 드러냈다. 따라서 산업 경제 및 국민 생활의 급격한 성장으로 전력 수요가 해마다 증가하고 있는 요즘 송전 시스템에서 가공송전선로의 역할은 더욱 중요시 되고 있다.

환경과 기후에 직접 노출되어있는 가공 송전선로에서의 사고 원인을 분석해보면 외부로부터 침입하는 뇌씨지에 의해 발생하는 사고가 상당부분을 차지하고 있는 것으로 나타난다. 따라서 전력공급의 신뢰도를 높이기 위해 가공 송전선로에 뇌씨지가 침입했을 때 발생하는 과도현상에 대한 해석과 보호, 대처 방안의 필요성이 요구 되어진다.

이러한 관점에서 본 논문은 EMTP를 사용하여 가공 송전선로에 뇌씨지가 발생했을 때와 동일한 등가모델을 구현하고 전력 전송시의 여러 가지 조건을 달리한 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과는 전송선로와 보호기기 선택뿐만 아니라 가공 송전계통구성의 합리적 설계를 위해 사용될 수 있을 것이다.

EMTP는 서지 현상을 분석하기위해 개발되었고 교류, 직류 연계 계통의 해석, 고조파 해석까지 가능한 범용성 프로그램이고 또한 단상 및 다상회로에서 정상상태는 물론 과도상태에서의 전압, 전류, 전력, 에너지 등을 사용자의 선택에 따라 시간영역에서 계산할 수 있기 때문에 본 논문에서 이용하였다.

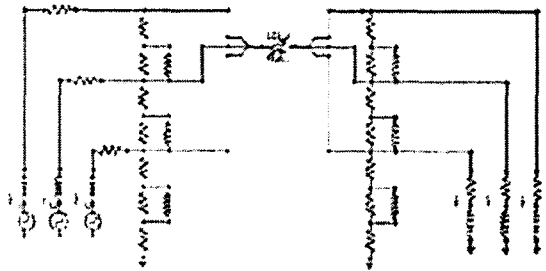
**2. 본 론**

**2.1 등가모델 구현**

본 논문에서는 가공 송전선로에서의 뇌씨지 전압의 영향을 해석하기 위한 등가모델을 그림-1과 같이 154kv 3상의 전원부와 두개의 절탑, 뇌격 전류, 부하단으로 구성하였다.

**2.1.1 Source and Load**

뇌씨지 시뮬레이션에서는 종종 AC Source는 무시되어 왔으나 이번 연구는 뇌씨지 자체의 특성만을 파악하는 것이 아닌 송전선로에서의 영향을 관찰하는 것이니만



<그림-1 : 등가모델>

**2.1.2 전송선로(Transmission Line)**

통상의 가공송전선로는 3상 2선에 2조의 가공지선을 포함하여 8상 회로가 되지만 본 논문에서는 전송선로에 직접 떨어진 뇌씨지의 영향을 측정하기 위해 가공지선 2조를 제외하였고 전력선은 직접적인 뇌씨지의 영향을 받은 하나의 회선만을 모델링 하였다.

전력선은 LCC로 구성하였으며 기준 설정값은 다음의 표[1]와 같다.

dat	Rea	Rout	Resis	Hori	Vtow	Vmid	Sep	Alph	NB
a	ct	[mm]	[ $\Omega$ ]	[m]	[m]	[m]	[cm]	[ $^{\circ}$ ]	
1	0	2.85	0.0702	3.60	39.6	33.6	4	90	2
2	0	2.85	0.0702	4.80	35.3	29.3	4	90	2
3	0	2.85	0.0702	3.80	31	25	4	90	2

<표-1 : 전력선의 기준 설정값>

**2.1.3 뇌씨지 전류와 임피던스**

본 논문에서는 뇌씨지를 1회의 스트로크로 구현하였다.[9] 그 이유는 각 스트로크의 간격이 약 30ms 정도[6]로 서로 영향을 끼치지 않고 여러 번의 스트로크 중 두 번째 스트로크의 크기가 처음 크기의 대략 40%가 되어 첫 번째 스트로크에 비해 영향이 작기 때문에 여러 번의

스트로크의 영향을 고려하지 않았다. 따라서 뇌썬지 전류는 이 가정에 가장 적합한 Heidler-type[1]로 구현을 하였다. 이 썬지의 형태는 다음과 같다.

$$i(t) = \frac{Im(t/\tau_1)^2 * e^{-t/\tau}}{\eta \{1 + (t/\tau_1)\}^2}$$

$\tau_1$ (the front time constant)은 [CIGRE]를 사용하여 계산[2]

$$\tau_1 = 0.0834Im^{0.828} \quad \text{if } Im \leq 20kA$$

$$\tau_1 = 0.1540Im^{0.624} \quad \text{if } Im > 20kA$$

$\tau$ (the stroke duration)  $t=0$ 에서 current의 크기 피크값의 37%로 되는  $t$ 점까지의 간격

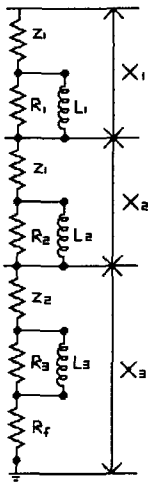
$Im$ (the peak value of the lighting current)기본 설정으로 60kA

$\eta$  : an adjustment coefficient

뇌썬지 임피던스는 뇌썬지 전류를 구현한 Heidler-type과 병렬로 구현하였고 크기는 Bewley에 따라 400[Ω]으로 하였다.[3]

### 2.1.4 철탑구성 및 철탑수

철탑은 단상 분포정수선로를 이용하는 경우가 많으며 본 논문에선 일본에서 제안된 4단 철탑모델을 기본으로 가공지선이 연결되는 탑정은 제외한 형태를 이용하였다. [10]



이 모델은 현장 실측결과를 이용하여 개발되었으며 아킹온 간의 전압이 현장실측치와 잘 일치되는 점이 장점이며 작성법 및 기본회로는 다음과 같다.[7]

$$R_i = \Delta R_i * X_i$$

$$L_i = 2 * \tau * R_i$$

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = 2Z_1 * \ln(1/a_1) / (h - X_3)$$

$$\Delta R_3 = 2 * Z_3 * \ln(1/a_3) / h$$

[ $\tau = h/c$ ,  $\tau =$  송전탑에서의 traveling time]  
 [ $a_1 = a_3 =$  송전탑에서 감소 = 0.89]  
 [ $h =$  송전탑의 높이]

위의 식에 의한 결과값

$R_1 = 21.48\Omega$	$L_1 = 6.55\mu H$
$R_2 = 14.8995\Omega$	$L_2 = 4.549\mu H$
$R_3 = 14.8995\Omega$	$L_3 = 4.549\mu H$

<그림-2>

<표-2 : R, L의 계산 결과값>

$Z$ 는 서지 임피던스를 구현한 것으로  
 $Z_1 =$  tower top to the upper phase arm  
 = upper to middle  
 = middle to tower = 220[Ω]  
 $Z_2 =$  lower to tower bottom = 150[Ω]

$R_f$ 는 송전탑의 footing impedance로 전류 의존적인 비선형적 임피던스로 L과 C의 성질을 가지고 정확히 구현되어지나 본 논문에서는 간단한 선형 임피던스(10[Ω])로 모델링 하였다.[4]-[5]

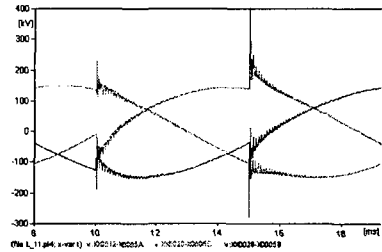
기존의 관련 연구에서는 철탑의 수를 뇌썬지의 반사파가 돌아올 때까지의 거리를 고려하여 주로 5기로 하였으나 본 논문에서는 뇌썬지에 의한 직접적인 전위 상승현상을 보기위해 철탑은 2기로 유지한 채 경간을 변화시켜 거리의 변화를 주도록 하였다.

## 2.2 시뮬레이션 및 파형 해석

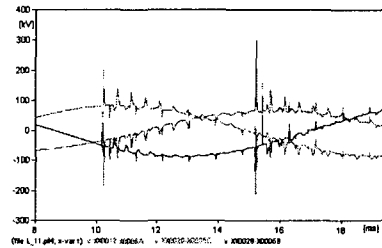
본 논문에서는 그림-1을 대상으로 EMTP를 이용하여 송전선로에서 뇌썬지 발생시의 영향을 선로의 굵기와 길이, 뇌격전류의 크기를 변화시켜가면서 시뮬레이션하였다

### 2.2.1 선로의 길이에 따른 뇌과전압 해석

그림-3과 그림-4는 전송선로의 길이에 따른 뇌썬지의 영향을 나타낸 것으로 ACSR410을 기본으로 하여 뇌썬지 발생점으로부터 선로의 길이가 10km인 경우와 100km인 경우를 시뮬레이션 하였다.



<그림-3 : 10km>



<그림-4 : 100km>

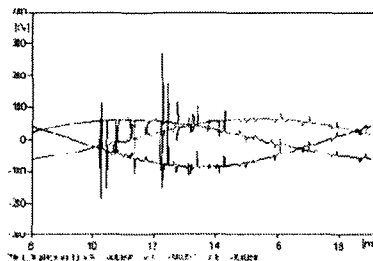
길이(Km)	10	30	50	70	100
출력전압(KV)	400	377	352	322	300

<표-3 : 전송선로의 길이에 따른 출력전압>

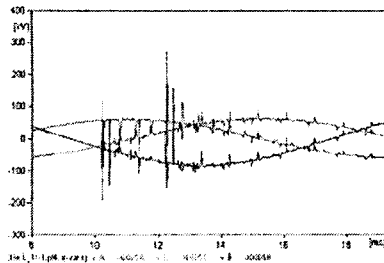
위의 출력 파형과 표-3에서 알 수 있듯이 전송선로의 길이가 짧을수록 부하에서 뇌썬지에 의한 전압 상승은 크게 증가함을 알 수 있다. 선로의 길이에 대한 영향은 사고시 방지대책으로 설치하는 피뢰기의 위치를 선정하는데 이용할 수 있다.

### 2.2.2 선로의 굵기에 따른 뇌과전압 해석

그림-5와 그림-6은 선로의 굵기 변화에 따른 뇌썬지의 영향을 나타낸 것으로 ASCR 410(외경 2.85cm, 단위 길이당 저항 0.0702 Ω/km) 과 ASCR 330(외경 2.53cm, 단위 길이당 저항 0.0888 Ω/km)을 전송선로로 연결한 후 부하 측의 전압파형을 측정하였다.



<그림-5 : 외경2.85cm>



<그림-6 : 외경 2.53cm>

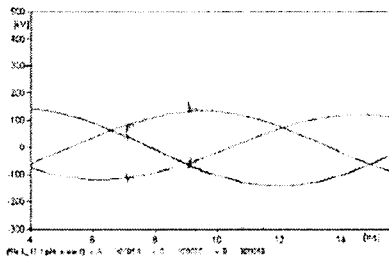
굵기(Cm)	2.53	2.66	2.85
출력전압(kV)	278	279	281

<표-4 : 전송선로의 굵기에 따른 출력전압>

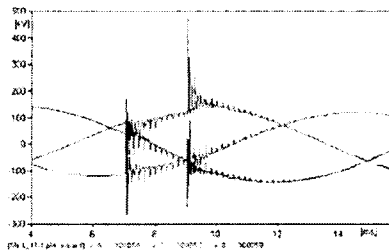
길이의 변화에 따른 부하 측에서의 전압 파형의 변화와는 달리 굵기의 변화에 따른 출력전압 파형은 큰 차이를 보이지 않았다. 즉, 부하 측에서의 뇌찌지에 대한 영향은 전송선로의 굵기보다는 전송선로의 길이에 더 큰 영향을 받는 것으로 평가되어 진다.

### 2.2.3 뇌격전류의 크기에 따른 뇌과전압 해석

뇌찌지에 의한 뇌격전류의 강도는 LPATS(Lighting Position and Tracking System)에 의해 조사된 바에 의하면 최대 크기 200kA, 최소크기 8kA, 평균 40k로 나타난다.[8] 그림-7과 그림-8은 뇌격전류의 크기가 8kA와 80kA인 경우의 출력파형을 나타낸 것이다.



<그림-7 : 8kA>



<그림-8 : 80kA>

뇌격크기(kA)	8	20	40	60	80
출력전압(kV)	180	230	310	390	470

<표-5 : 뇌격크기에 따른 출력전압>

위의 두 출력파형과 표를 통해 보는바와 같이 뇌격 전류를 8kA에서 80kA까지 증가시켜본 결과 10kA마다 부하측에 유기되는 뇌과전압이 대략 40kV 상승함을 확인

하였다. 이 결과 뇌격 전류의 강도가 커질수록 전송선로에 유기되는 뇌과전압도 거의 선형적인 비율로 증가함을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문의 연구 목표는 EMTP를 이용하여 154kV 가공 송전선로의 뇌찌지에 의한 영향을 분석하는 것으로, 시뮬레이션을 위한 간략화 된 등가모델을 구현하였고 송전계통의 여러 파라미터들 중 선로의 길이, 굵기, 뇌격전류를 변화시키며 부하측에서 발생하는 뇌과전압의 특성을 분석하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 등가모델은 전송선로에 직접 뇌찌지가 작용했다는 가정하에 가공지선을 제외하였고 전력선은 1회선만을 나타내었다.
- 2) 동일한 ACSR선로에서 전송선로의 길이가 짧을수록 뇌찌지에 의해 유기되는 뇌과전압의 크기는 커지고 심하게 요동친다.
- 3) 동일한 ACSR선로에서 전송선로의 굵기의 변화는 뇌찌지에 의해 유기되는 뇌과전압의 크기와 지속시간에 그다지 큰 영향을 주지 않는다.
- 4) 침입하는 뇌격전류의 강도에 비례하여 부하 측에 유기되는 뇌과전압의 크기는 거의 선형적으로 증가한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] KU Leuven EMTP centre, "Alternative transient program(ATP) Rule Book", 1987
- [2] CIGRE working group 33-01 lightning of study committee 33 overvoltage and insulation co-ordination, "Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines", 1991
- [3] L. V. Bewley, "Traveling Waves on transmission systems New York: Dover", 1963
- [4] "A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines", IEEE Trans. Power App. Syst, vol. PAS-104, p.919, 1985
- [5] "Estimating lightning performance of transmission lines, II-update to analytical models", IEEE Trans.Power App. Syst, vol. PWRD-8, p.1254, 1993
- [6] Gallagher T. J and Pearmain A. J, "High voltage measurement, testing and design", John Wiley & Sons, 1983
- [7] M. Ishii et al, "Multistory transmission tower model for lightning surge analysis", IEEE Trans. Power App. Syst, vol. PWRD-6, no. 3, p. 1372, July, 1991
- [8] J. W. Woo, J. S. Kwak, D. J. Kweon, E. B. Shin, J. D. Moon, S. O. Han, "The inspection results regarding lightning location error of KEPCO-LPATS and the calculated results on the lightning surge in the KEPCO power system", 2003
- [9] I. M. Dudurych, T. J. Gallagher, J. Corbett, M. Vat Eacydero "EMTP analysis of the Lightning performance of a HV transmission Line", Vol150 No. 4 July 2003
- [10] A. Arndtani, Fellow,IEEE, T. Kawamura, Fellow, IEEE, "A Method of a Lightning Surge Analysis Recommended in Japan Using EMTP", 2005
- [11] 한국 EMTP 사용자 그룹(www.keug.co.kr)