

EMTP를 이용한 가공송전선로에 의한 통신선의 유도전압 해석

최 백 구, 고 광 철

한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

Analysis of Induced Voltage in Communication Line by Overhead Transmission Line Using EMTP

Baek-Ku Choi, Kwang-Cheol Ko

Division of Electrical and Computer Engineering, Hanyang University

**Abstract** - 전력선에서 발생하는 자속으로 인해 주변 통신선이나 도체에 영향을 주는 유도장해는 특히 전력선의 지락사고 시 전력선에서 발생한 큰 자속이 주변 통신선 등에 채교하여 높은 전자유도 전압을 발생한다. 선로 정수를 계산하여 자체적으로 인덕턴스와 정전용량 계산이 가능한 EMTP를 통하여 154kV 전력선의 실측데이터를 바탕으로 1선 지락사고 시의 전력전송 등가모형을 구현하여 주변 통신선에 유도되는 전압을 시뮬레이션을 통해 자료를 얻는다. 이론적으로 알고 있는 유도장해를 실험을 통하여 확인함을 이 논문의 목표로 한다.

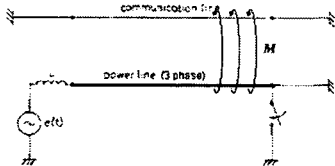
루틴이 있어 주어진 공식을 이용하여 모든 인덕턴스와 정전용량을 계산한다. 또한 사용되는 공식은 대지고유저항에 의해 발생하는(Carson의 공식을 이용) 주파수 의존 특성을 충분히 고려할 수 있으므로 본 논문에서 이용하였다.[10]

2. 본 론

2.1 등가모델 구현

본 논문에서는 가공 송전선로에서의 1선 지락사고로 인한 통신선 유도전압을 해석하기 위한 등가모델을 그림-2와 같이 154kV 3상의 전원부와 부하단, 두 개의 철탑, 그리고 a상의 지락사고 시의 모델로 구성하였다.

1. 서 론



<그림-1 1선 지락시 발생하는 전자유도>

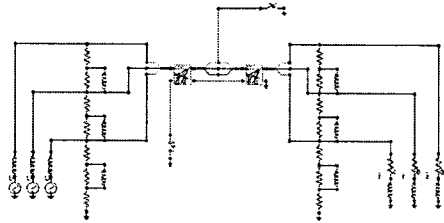
그림-1은 e(t)의 3상 전원이 연결된 송전선로의 1선 지락사고시 인근에 있는 통신선에 상호 인덕턴스 M에 의하여 전자 유도 장해가 발생하는 것을 나타낸 것으로 지락사고와 같은 고장이 발생하여 이로 인해 대지를 통해 전력선에 영상전류가 흐르게 되면, 통신선과의 전자적 결합에 의해서 통신선 측에 높은 전압과 큰 전류가 유도된다.[1]

이러한 현상은 통신장해와 통신기기의 손상은 물론 통신 업무에 종사하는 사람들에게 까지 위협을 끼칠 수 있다. 전력사업 초기에는 비접지계통으로 이러한 유도장해가 그리 문제되지 않았으나 1960년대부터 접지계통으로 전환하면서 문제되기 시작했으며 최근에는 전력설비와 통신설비의 급증으로 유도장해 문제도 많아지게 되었다.

향후 2015년까지 대부분의 통신설비를 광케이블화 할 예정으로 극히 일부만 문제될 전망이지만 그때까지 이 피해는 지속될 것으로 보여 진다. 따라서 이를 보호하기 위하여 이에 대한 현상을 예측하고 이를 해석하여 그에 대한 대응책을 마련하는 것이 필요하다.

이런 점에서 본 논문은 EMTP를 이용하여 가공송전선로에서 가장 빈번히 발생하는 1선 지락사고 발생 시의 등가모델을 구현하고 이때 주변 통신선에 유도되는 전자유도전압을 이격거리, 대지저항율, 선로 병행 길이 등의 여러 가지 조건을 달리하여 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과는 안정적 통신망 구축에 사용될 수 있을 것이다.

EMTP는 서지 현상을 분석하기 위해 개발되었고 교류, 직류 연계 계통의 해석, 고조파 해석까지 가능한 범용성 프로그램이고 EMTP에는 선로정수를 계산하는 자체적인



<그림-2 등가모델>

2.1.1 송전선로와 통신선로(Transmission and Communication Line)

실제 해석과정에서 선로의 도체를 모두 고려하여 문제를 해결하는 데는 해석 대상의 영역에 비해서 도체의 크기가 매우 작으므로[9] 따라서 일반적인 송전선로는 3상 2회선에 2조의 가공지선으로 이루어진 8상 선로가 되지만 본 논문에서는 가공지선의 유도장해 차폐 효과와 회선 간 간섭을 배제하고 송전선로만의 영향을 받은 통신선의 유도전압을 알아보기 위하여 가공지선 2조를 제외한 하나의 회선과 통신선만을 모델링하였다.

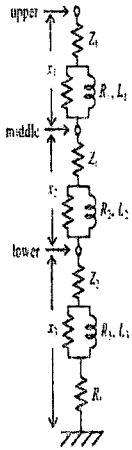
송전선로와 통신선로는 도체의 기하학적인 위치로부터 계산에 필요한 정수를 계산할 수 있는 LCC(Line & Cable Constants)로 구성하였으며 설정값은 다음 표-1과 같다.[8]

Data	React	Rout [cm]	Resis [Ω/m]	Hori [m]	Vtow [m]	Vmid [m]	Sep [cm]	Alpha [°]	NB	비고
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	전력선
3	0	2.85	0.0702	3.80	31	25	4	90	2	
4	0	1	0.1	100	1	1	0	0	1	통신선

<표-1 송전선로와 통신선의 설정값>

### 2.1.2 철탑 모델링

철탑은 단상 분포정수선로를 이용하는 경우가 많으며 본 논문에선 일본에서 제안된 4단 철탑모델을 기본으로 가공지선이 연결되는 탑정은 제외한 형태를 이용하였다. [3]



이 모델은 현장 실측결과를 이용하여 개발되었으며 아킹혼 간의 전압이 현장 실측치와 잘 일치되는 점이 장점이며 작성법 및 기본회로는 다음과 같다. [4]

$$R_i = \Delta R_i * X_i$$

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

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = 2Z_1 * \ln(1/u_1) / (h - X_3)$$

$$\Delta R_3 = 2 * Z_3 * \ln(1/u_3) / h$$

[ $\tau = h/c$ ,  $\tau$  = 송전탑에서의 traveling time]

[ $u_1 = u_3$  = 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-3> <표-2>

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

$R_f$ 는 송전탑의 footing impedance로 전류 의존적인 비선형적 임피던스로 L과 C의 성질을 가지고 정확히 구현되어지나 본 논문에서는 간단한 선형 임피던스( $10[\Omega]$ )로 모델링 하였다. [5]-[6]

본 논문에서는 철탑은 2기로 유지한체 철탑 사이의 공간을 변화시켜 송전선로와 이와 평행하게 있다고 가정된 통신선로의 선로 길이를 변화시켜 시뮬레이션 하였다.

### 2.1.3 전자 유도 장애와 1선 지락사고 모델링

직접접지계통의 전력선은 정상 운전 시 접지된 중성점을 통하여 흐르는 전류가 거의 없어 특수한 경우를 제외하고 전자유도는 거의 발생하지 않는다. 전력선은 정상 운전 시 일반적으로 평행부하를 유지하기 때문에  $I_a + I_b + I_c = 0$ 이 되어 유도 전압은 거의 발생하지 않는다. 그러나 1선 지락고장이 발생하면 고장전류  $I_g = 3I_0$ 가 흐르게 되며 이것은 대지를 커로로 하여 흐르는 영상전류로서 전력선 인근 통신선에 전자 유도 장애를 일으키는 원인이 되는 것이다.

통신선에 유도되는 유도전압  $E_m$ 은

$$E_m = -j * 2 * f * l * M * (I_a + I_b + I_c)$$

$$= -j * 2 * f * l * M * 3I_0$$

상호 인덕턴스  $M$ 의 산정에는 Carson-Pollaczek의 식이 있다. [11]

$$M = (4.6 \log \frac{2}{kD} - j \frac{\pi}{2}) * 10^{-4} [H/km]$$

$$k = 2\pi \sqrt{2f\sigma} * 10^{-7}$$

$\sigma$  : 대지의 도전율 [ $\sigma/m$ ]

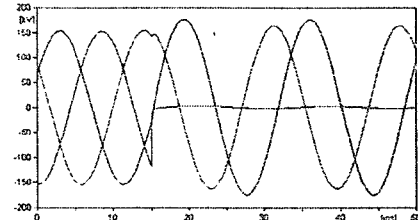
$D$  : 전력선과 통신선간의 이격거리

본 논문에서는 송전선로를 연가(transposed)시켜 정상 운전 시의 상시 유도전압을 최소화 시키고 영상전류의 대지커로 효과를 표현하기 위하여 주파수 의존 분포정수

선로 모델인 JMart(Jose Marti) 모델을 적용하였다. [10] 그리고 1선 지락사고는 송전선로 a상의 선로길이 50%에서 발전기 투입 후 0.015초 후 발생하게 하였으며 고장 저항은  $0\Omega$ 이라고 가정하였다.

### 2.2 시뮬레이션 및 해석

본 논문에서는 그림-2를 모델로 하여 EMTTP를 이용하여 전력선에서 1선 지락사고 발생 시 인근 통신선에 유도되는 전자 유도 전압을 전력선과 통신선 간의 이격거리, 대지의 저항율, 선로 병행 길이를 변화시킨다. 송전선로는 ACSR410, 고장점은 선로길이의 50%에서 발생함을 기본으로 하여 기본 이격거리 100m, 대지의 저항율  $100\Omega/m$ (농경지), 선로 길이 1km에서 변화시켜가며 시뮬레이션 하였다.

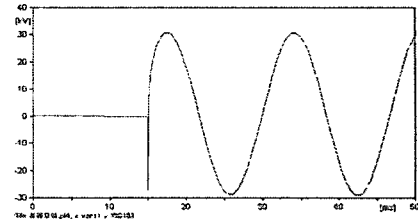


<그림-4 a상에서 1선 지락시 부하단 출력 파형>

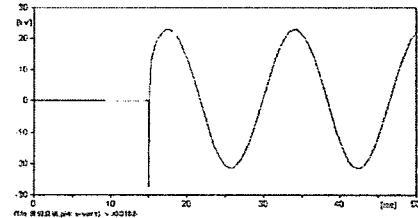
위 그림-4는 0.015초에 a상에서 지락사고 발생시 부하단에서 관측된 출력파형이다. a상은 적색, b상은 청색, c상은 녹색을 나타내며 0.015초에 a상 지락시 전압 평행이 무너짐을 확인할 수 있다.

#### 2.2.1 이격거리에 따른 유도 전압 해석

그림-5, 그림-6는 전력선과 통신선 간의 이격거리에 따른 통신선에 유도되는 유도 전압의 파형을 나타낸 것이다. 이격거리가 100m인 경우와 1km인 경우를 시뮬레이션 하였다.



<그림-5 이격거리 100m>



<그림-6 이격거리 1km>

이격거리(m)	100	500	1000
유도전압(kV-peak)	31	25	23

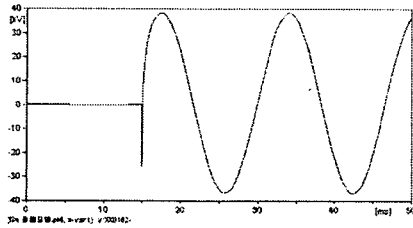
<표-3 이격거리에 따른 유도전압 결과>

위의 출력파형과 표에서 볼 수 있듯이 전력선과 통신선 간의 이격거리 멀어 질수록 통신선에 유도되는 유도 전압은 작아짐을 알 수 있다. 선로 간 이격거리의 영향은 선로 간의 상호 인덕턴스를 감소시키므로 실제 설계 시 이격거리를 멀리하여 설계한다.

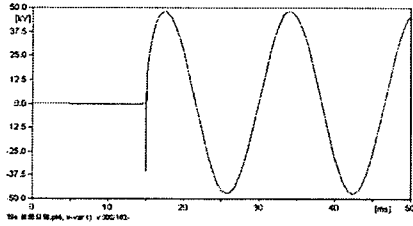
#### 2.2.2 대지의 저항율에 따른 유도 전압 해석

그림-7, 그림-8은 선로가 설치되는 대지의 저항율에

따른 영향을 나타낸 것으로 전성 사력층 토양(저항율:1000[Ωm])와 암반질 토양(저항율:30000[Ωm])에서의 통신선 유도전압 파형을 측정된 것이다.[9]



<그림-7 저항율 1000[Ωm]>



<그림-8 저항율 30000[Ωm]>

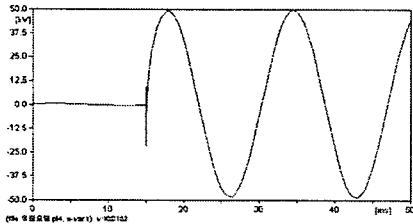
대지 저항율(Ωm)	100	1000	30000
유도전압(kV-peak)	31	38	48

<표-4 대지저항율에 따른 유도전압 결과>

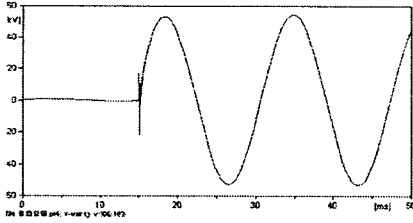
대지의 저항율이 크다는 것, 다시말해 대지의 도전율이 작은 것이므로 대지의 도전율이 작을수록 상호 인덕턴스가 커져 통신선에 유도되는 전압이 커지게 된다. 위 결과처럼 선로의 대지저항율이 클수록 유도되는 전압의 크기도 커짐을 알 수 있다. 따라서 송전선 설치시 대지 저항율에 의해 유도전압이 크게 유도 될 경우 경과지(Route)를 변경하여 상호 인덕턴스 M을 줄인다.

### 2.2.3 병행 구간 거리에 따른 유도 전압 해석

그림-9, 그림-10은 병행 구간 거리에 따른 통신선의 유도전압 파형을 나타낸 것으로 병행 구간이 3km와 5km일 때를 유도전압 파형을 시뮬레이션 한 것이다.



<그림-9 병행 구간 3km>



<그림-10 병행 구간 5km>

병행 구간(km)	1	3	5
유도전압(kV-peak)	31	48	53

<표-5 병행 구간 거리에 따른 유도전압 결과>

전력선과 통신선 간에 유도 장애 영향을 받는 병행 구간을 1km에서 2km씩 증가시켜 5km까지 측정해 본 결과 선로의 길이가 길면 길수록 유도되는 전압의 크기도

커짐을 알 수 있다. 따라서 양도체의 병행 구간을 짧게 해야 유도 전압을 줄일 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문의 연구 목표는 EMTP를 이용하여 154kV 가 공송전선로에 의한 인근 통신선에 유도되는 유도전압을 분석하는 것으로, 시뮬레이션을 위한 간략화 된 등가모델을 구현하였고 유도 장애에 영향을 미치는 요인들 중 동일한 ACSR410 선로에서 선로 간 이격거리, 대지의 저항율, 병행 구간 거리를 변화시켜 통신선에 유도되는 전압의 특성을 분석하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 등가모델은 유도장애에 대한 가공지선의 영향을 제외하고 회선 간 간섭을 배제하여 전력선의 1회선에 의한 유도 장애 영향을 확인하기 위해 구현되었다.
- 2) 전력선과 통신선 간의 이격거리가 멀수록 유도 장애에 의해 통신선에 유도되는 전압의 크기는 작아진다. 따라서 전력선 설치시 주변 통신선에 규정치 이상의 유도전압이 발생하지 않도록 이격거리를 고려해 설치한다.
- 3) 선로가 설치되는 대지의 저항율이 클수록 통신선에 유도되는 전압의 크기는 커진다. 따라서 송전선 설치시 설치한 대지의 저항율로 인해 규정치 이상의 유도전압이 발생시 경과지(Route)를 변경하여 설치하도록 한다.
- 4) 전력선과 통신선 양도체 간의 병행 구간이 길수록 통신선에 유도되는 전압의 크기는 커진다. 그리하여 가능하면 병행 구간을 짧게 하여 양도체 간의 유도장애 영향을 최소화 한다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "Abschlussbericht ZUT Power-Line Studie". This is the final report dated Jan-2000 on a comprehensive study of the EMC characteristics of low voltage mains distribution networks by the Technical University of Dresden (in German). It includes balance and coupling factors. <http://www.regtp.de/tech-reg-telestart/in-O6-03-02-03-00-m/index.html>
- [2] Imamura, T.; Ametani, A., "Investigation of transient induced voltage to a communication line from an overhead power transmission line", generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C, Volume:137, Issue:2, March 1990
- [3] A. Amtdani, Fellow,IEEE, T. Kawamura, Fellow, IEEE, "A Method of a Lighting Surge Analysis Recommended in Japan Using EMTP", 2005
- [4] 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
- [5] "A simplified method for estimating lightning performance of transmission lines", IEEE Trans. Power App. Syst, vol. PAS-104, p.919, 1985
- [6] "Estimating lightning performance of transmission lines, II-update to analytical models", IEEE Trans. Power App. Syst, vol. PWRD-8, p.1254, 1993
- [7] Amer, G. M.; "Magnetic coupling between high voltage transmission lines and communications lines", Universities Power Engineering Conference, 2004. UPEC 2004. 39th International, Volume 1, 6-8 Sept. 2004 Page(s):75 - 78 Vol. 1
- [8] 한국 EMTP 사용자 그룹([www.keug.co.kr](http://www.keug.co.kr))
- [9] 최세용, "송전선로 주위의 도체에 미치는 유도장애 해석", 성균관대학교, p.22, 26, 2000
- [10] 김태완, "EMTP를 이용한 통신선 유도전압 모의에 관한 연구", 성균관대학교, p.17-18, 2005
- [11] 박규홍, "전력전송공학", 동일출판사, p.216-217, 2000