

# 22.9kV 배전선로 중성선 설치 구조에 따른 유도뢰 차폐효과 분석

논문  
59P-2-11

## Analysis on the Induced Lightning Shielding Effect According to the Neutral Wire Installation Structure of a 22.9kV Distribution Line

김점식<sup>†</sup> · 김도영\* · 박용범\*\*  
(Jeom-Sik Kim · Do-Young Kim · Yong-Beom Park)

**Abstract** - The electricity distribution system in Korea is adopting a multi-grounding system. Protection of this distribution system against lightning is performed by installing overhead ground wires over the high voltage wires, and connecting the overhead ground wires to the ground every 200 m. The ground resistance in this system is limited not to exceed 50Ω and overhead ground wire and neutral wire are multiple parallel lines. Although overhead ground wire and neutral wire are installed in different locations on the same pole, this circuit configuration has duplicated functions of providing a return path for unbalanced currents and protecting the distribution system against induced lightning. Therefore, the purpose of this study is to analyze the induced lightning shielding effect according to the neutral wire installation structure of a 22.9kV distribution line in order to present a new 22.9kV distribution line structure model and characteristics. This study calculated induced lightning voltage by performing numerical analysis when an overhead ground wire is present in the multi-grounding type 22.9kV distribution line structure, and calculated the induced lightning shielding effect based on this calculated induced lightning voltage. In addition, this study proposed and analyzed an improved distribution line model allowing the use of both overhead wire and neutral wire to be installed in the current distribution lines. The result of MATLAB simulation using the conditions applied by Yokoyama showed almost no difference between the induced lightning voltage developed in the current line and that developed in the proposed line. This signifies that shielding the induced lightning voltage through overhead wire makes no difference between current and proposed distribution line structures. That is, this study found that the ground resistance of the overhead wire had an effect on the induced lightning voltage, and that the induced lightning shielding effect of overhead wire is small.

**Key Words** : Distribution Line, Induced Lightning, Neutral Line, Shielding Effect, Overhead Ground Wire(OHGW)

### 1. 서 론

낙뢰는 가공배전선로의 주요 고장원인의 하나로 전력설비의 최대 위협요인이며 공급장을 초래하는 사고이다. 우리나라의 경우에도 송·배전선로에 낙뢰가 발생하여 인근 지역에 전력공급이 중단되는 사고가 해마다 발생하고 있다. 원자력발전소의 송전선로에 낙뢰가 내리쳐 발전이 일시 중단되는 사고가 있다. 한국전력의 자료에 따르면 우리나라의 전력설비에 떨어진 낙뢰가 해마다 증가하고 있다. 2003년 205건이던 것이 2007년에는 462건으로 늘었으며, 매년 낙뢰로 인해 발생하는 송전 장애는 전체의 66[%] 이상이다. 변전설비나 배전설비까지 포함한다면 낙뢰로 인한 사고율은 더욱 높으며, 적절한 절연설계를 위한 뇌격 파라미터의 정밀 측정이 필요하다[1-3].

전력계통의 절연설계에 있어 중요한 요소 중 하나가 뇌과전압이며, 이러한 뇌과전압은 절탑 또는 전력선에 낙뢰가 떨어졌을 때 뇌격전류의 크기와 파형에 직접적으로 연관되어 있어 이를 정확하게 측정하고 분석하는 것은 전력계통의 절연설계 신뢰성 향상을 위한 핵심요소기술이다[4-6].

낙뢰의 절연설계 신뢰성 향상을 위한 노력의 일환으로 배전선로의 가공지선 효과에 대한 계산은 여러 문헌에 발표되었으나 다중 접지계통이 아닌 중성선이 없는 비접지계통에 대한 이론이 대부분이다. 우리나라와 같은 22.9 kV-Y 다중 접지계통에 대한 유도뢰에 대한 효과를 고려하여 검토한 결과는 많지 않다. 특히 Yokoyama가 발표한 논문은 중성선이 여러 개소에 접지되어 있는 실계통에 적용하기 어렵고, 접지개소도 1개소만을 대상으로 한정하고 있기 때문에 접지개소에 따라서 값이 상이한 문제가 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 다중접지에 적합한 접지장소별 접지저항의 영향이나 연결에 따른 영향 등에 대한 연구가 요구된다[7-9].

본 논문에서는 22.9kV 배전선로의 구조에 따른 유도뢰의 차폐효과를 분석하고자 한다. 이를 위해 현행 22.9kV 중성점 다중 접지방식의 배전선로 구조에서 수치해석을 통해 뇌과전압 및 유도뢰전압을 계산하고 이를 기반으로 유도뢰 차폐효과를 계산하였다. 또한 현행 배전선로 구조를 대체하는 중성선과 가공지선을 겸용하는 선로를 제안하여 동일한 해석을 수행하였으며 제안한 구조의 타당성을 입증하기 위해 유도뢰 차폐효과를 모의 해석을 통해 분석하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 대원전기(주) 부설연구소 팀장  
E-mail : jpoint@hanmail.net

\* 정 회원 : 대원전기(주) 부설연구소 연구원

\*\* 정 회원 : 대원전기(주) 상무이사/연구소장

접수일자 : 2010년 1월 26일

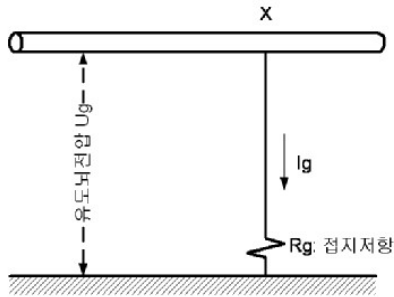
최종완료 : 2010년 3월 4일

### 2. 유도뢰 수치해석

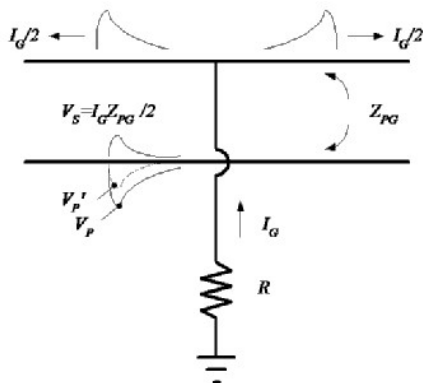
#### 2.1 가공지선 접지저항을 고려한 유도뢰 차폐

유도뢰에 대한 가공지선(OHGW)의 효과는 그림 1과 같

다. 피뢰기의 설치로 인한 설치개소의 유도뢰전압 억제와 달리 가공지선을 설치한 전 개소의 대지전압을 억제하여 배전선로 전체를 보호하기 위한 것이다. 즉, 가공지선과 상도체간의 결합에 의해 상도체의 유도뢰전압(대지전압)을 작게 억제하는 것이다.



(a) 가공지선의 원리



(b) 가공지선에 의한 유도뢰 전압 억제

그림 1 가공지선에 의한 유도뢰 전압억제 효과  
Fig. 1 Effect of Induced Lightning by OHGW

가공지선이 없는 경우 상도체에서 발생하는 전압을  $V_p$ , 가공지선이 있고 비접지된 경우의 가공지선에 발생하는 유도전압을  $V_G$  라 정의할 수 있다. 가공지선이 접지된 경우 가공지선에는  $I_G$ 의 1/2의 전류가 흐르며, 이 전류에 의해 가공지선과 상도체의 상호서지임피던스를 매개로 상도체에 다음의 억제전압( $V_s$ )이 발생한다.

$$V_s = \frac{1}{2} I_G Z_{PG} \quad (1)$$

이로 인해 상도체에 발생하는 전압  $V_p'$ 는 다음과 같다.

$$V_p' = V_p - V_s = V_p - \frac{1}{2} I_G Z_{PG} \quad (2)$$

가공지선이 접지된 경우에 가공지선의 전압  $V_G'$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$V_G' = \frac{1}{2} Z_G I_G + R I_G \quad (3)$$

$Z_G$ 는 가공지선의 서지임피던스이다. 유도뢰 전압은 도체의 지상고에 비례하므로  $V_G'$ 는 다음과 같다.

$$V_G' = \frac{h_G}{h_p} V_p \quad (4)$$

여기서  $h_G, h_p$ 는 각각 가공지선과 상도체의 지상고이다. 식 (3)과 식 (4)에서 구한  $I_G$ 를 식 (2)에 대입하여 정리하면

$$V_p' = V_p \left( 1 - \frac{h_G}{h_p} \times \frac{Z_{PG}}{2R + Z_G} \right) \quad (5)$$

가 되며, 가공지선이 없는 경우의 유도뢰전압에 대한 가공지선이 있는 경우의 유도뢰 전압비를 차폐계수  $\eta$  라 할 때 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = \frac{V_p'}{V_p} = \left( 1 - \frac{h_G}{h_p} \times \frac{Z_{PG}}{2R + Z_G} \right) \quad (6)$$

이로써 차폐효과는 도체의 기하학적 배치에 따라 달라짐을 알 수 있다.

### 2.2 유도뢰 계산 알고리즘

유도뢰 계산을 위해 본 논문에서는 Rusck의 다도체 선로에서 유도된 스칼라 포텐셜( $V$ )과 전류( $I$ )에 대한 관계를 적용하였으며, 그 관계는 다음과 같다[10-12].

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial V}{\partial x} \right) &= -(l) \left( \frac{\partial I}{\partial t} \right) \\ \left( \frac{\partial I}{\partial x} \right) &= -\frac{1}{(k)} \left( \frac{\partial (V - V_i)}{\partial t} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $l$  : 인덕턴스 행렬

$k$  : 포텐셜 계수 행렬

$V_i$  : 유도된 스칼라 포텐셜

식 (7)에서  $V$  를 계산하기 위해 다음과 같은 식의 도입이 가능하다.

$$\left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} \right) = \frac{1}{v_0^2} \left( \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} \right) - \frac{1}{v_0^2} \left( \frac{\partial^2 V_i}{\partial t^2} \right) \quad (8)$$

여기서, 다음의 식(9)의 관계를 적용한다.

$$\frac{(l)}{(k)} = \frac{1}{v_0^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서,  $V_0$  는 광속을 의미한다. 식 (8)로부터 상도체  $u$  에 대해 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$\frac{\partial^2 V_u}{\partial x^2} = \frac{1}{v_0^2} \frac{\partial^2 V_u}{\partial t^2} - \frac{1}{v_0^2} \frac{\partial^2 V_{iu}}{\partial t^2} \quad (10)$$

따라서 변이점이 없는 다도체 시스템에서 발생하는 유도된 스칼라 포텐셜  $V_u$  는 다른 도체의 유무에 영향을 받지 않는다. 도체  $u$  에서 실제로 발생한 유도된 전압  $U_u$  는 유도된 스칼라 포텐셜  $V_u$  에 뇌격전류로부터 발생한 유도된 벡터 포텐셜  $A_i$  를 추가하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_u = V_u + h \frac{\partial A_{iu}}{\partial t} \quad (11)$$

여기서,  $h$  는 도체의 높이이다. 따라서  $U_u$  도 역시 다른 도체에 영향을 받지 않는다. 변이점이 없는 선로에서 다도체 선로상에 발생하는 유도된 전압은 단일선로에서 사용된 방법으로 조작할 수 있다.

### 2.3 수치해석결과 검증

수치해석을 통한 유도뢰 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위해 기존의 문헌에서 수행한 연구결과와 비교함으로써 시뮬레이션 모델의 정확성을 입증하고자 하였다. 비교대상은 Yokoyama가 유도뢰 실증시험을 수행하였을 때의 시뮬레이션 결과이다.

그림 2는 Yokoyama가 구성한 예제모델을 나타낸 것으로 유도뢰가 선로에서 100[m] 떨어진 지점에 떨어졌을 경우, 3개의 도체에서 유도된 전압파형을 측정하는 것이다. 그림 3은 일반 상도체에서 측정된 유도뢰 전압파형을 나타냈다. 이때 접지저항은 무한대에서 0까지 변경하였으며 접지저항이 적을수록 상도체에서 측정된 전압의 크기가 감소함을 알 수 있다[7-8].

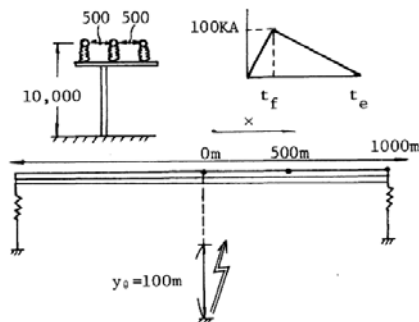


그림 2 시뮬레이션 선로의 구성도  
Fig. 2 Schematic Diagram of Simulation Line

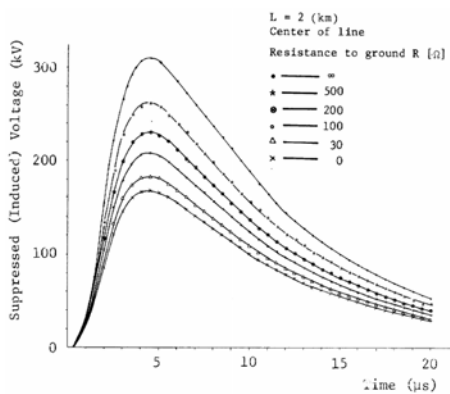


그림 3 가공지선 접지시 유도뢰 전압(YOKO's model)  
Fig. 3 Induced Lightning Voltage of OHGW Earth

그림 4는 가공지선 접지시 유도뢰 전압의 해석(MATLAB 시뮬레이션) 결과를 나타낸 것이며, 조건은 Yokoyama와 동일하게 설정하였다. 접지저항은 30[Ω]에서 무한대까지 변화시키며 시뮬레이션을 수행한 경우 접지저항이 작아질수록 유도뢰전압의 크기도 감소하는 것으로 확인되었다. 또한 Yokoyama의 결과와 유사한 특성을 보임으로써 본 논문에서 이용한 유도뢰의 모델 설정이 적합한 것으로 판단된다.

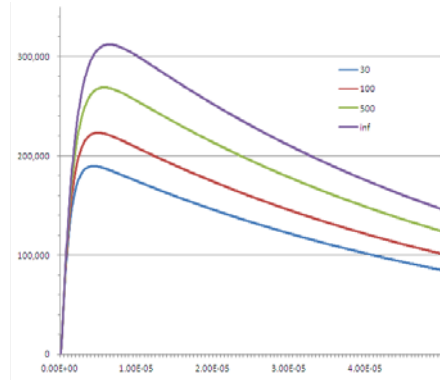
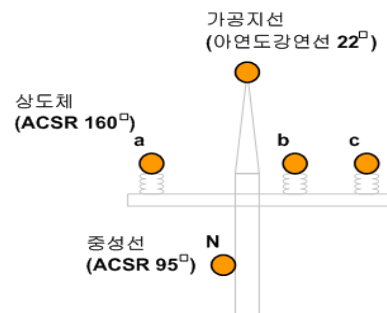


그림 4 가공지선 접지시 유도뢰전압(시뮬레이션)  
Fig. 4 Induced Lightning Voltage of OHGW Earth

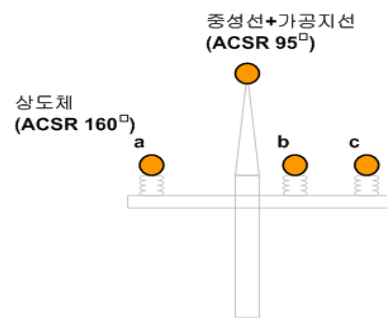
## 3. 유도뢰 차폐효과 계산

### 3.1 선로구조

현행 선로구조와 제안 선로구조의 구조를 그림 5에 나타냈다. 현행 선로구조에서는 가공지선과 중성선 및 상도체로



(a) 현행 선로구조



(b) 제안된 선로구조

그림 5 22.9kV 배전 선로의 구조  
Fig. 5 The Structure of 22.9kV Distribution Line

구성된다. 가공지선과 중성선은 매전주마다 서로 연결되고 200[m] 간격으로 대지에 접지하도록 되어있다. 제안된 선로 구조는 가공지선과 중성선을 합쳐서 가공지선 위치에 두고 중성선을 제거한 형태이다. 마찬가지로 제안된 선로 구조에 서도 200[m]마다 대지에 접지하도록 하였다.

3.2 가공지선 설치효과 계산

설계 선로 모델링 및 써지 임피던스 계산결과에서 접지저항  $R_g$  를 매개변수로 한 가공지선 차폐계수는 표 1과 같다.

표 1 가공지선 차폐계수

Table 1 Shielding Factor of OHGW

저항[Ω]	0	10	50	60	70	80	90	100
차폐계수 (n)	0.498	0.527	0.616	0.633	0.649	0.663	0.677	0.688

그림 6은 전주의 접지저항을 고려하여 현행 배전선로 (5W)와 제안된 선로(4W)의 유도된 차폐효과를 각각 계산한 것이다. 계산 결과 50[Ω]의 접지저항에서 차폐계수는 5W 시스템은 0.679, 4W 시스템은 0.706으로 현행선로에서 2.7[%] 정도 차폐효과가 크게 나타나며, 25[Ω]에서는 5W 시스템이 4.6[%] 정도 차폐효과가 크게 나타난다. 접지저항이 10[Ω]인 경우 5W 시스템은 0.597, 4W 시스템은 0.672로 현행선로에서 7.5[%] 차폐효과가 크게 나타나고 있다.

접지저항에 따른 차폐계수를 나타낸 것으로 접지저항이 작을수록 차폐효과가 향상됨을 알 수 있다. 두 시스템에 대한 차폐효과의 차이는  $R$  이 112[Ω]일 때 거의 없으며, 값이 큰 저항에서는 제안된 선로에서 오히려 차폐효과가 커짐을 알 수 있다.

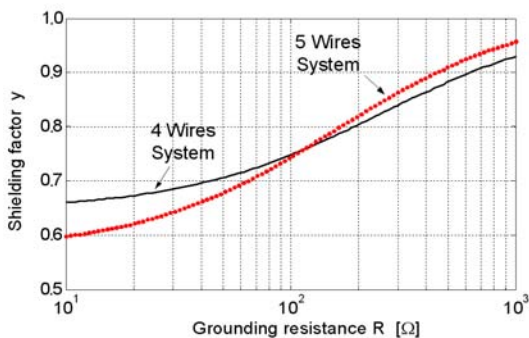


그림 6 접지저항에 따른 차폐계수

Fig. 6 Shielding factor for Ground Resistance

3.3 현행선로 및 제안된 선로의 차폐효과

현행선로에서 전주는 50[m]마다 설치하여 매전주마다 가공지선과 중성선을 연결한다. 그리고 가공지선은 200[m] 간격으로 대지에 접지하며 이때 접지저항  $R_g$  는 50[Ω]이다. 이를 그림 7에 나타냈다. 유도된 차폐효과를 분석하기 위한 유도된 전압 계산은 현행선로구조(가공지선, 중성선, 전력선 - 5W)와 제안된 선로(가공지선+중성선, 전력선 - 4W)구조에서 동일한 조건하에서 이루어졌으며 상도체에 유도된 유도전압을 측정 및 비교하였다.

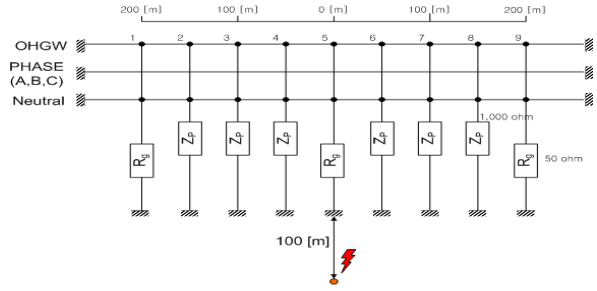


그림 7 현행 배전선로 구조

Fig. 7 Current Distribution Line Structure

그림 8은 현행선로 시뮬레이션 모델의 구조를 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 낙뢰는 그림 7의 5 지점에서 100[m] 떨어진 지점에 떨어졌다고 가정하였다. 시뮬레이션 조건은 50[m]마다 전주가 설치되었으며, 가공지선과 중성선은 200[m] 간격으로 접지한 것이다. 단, 접지저항  $R_g$  는 50 [Ω]보다 낮은 10[Ω]으로 설정하였으며, 접지하지 않은 전주는 접지저항  $Z_p$  를 1,000[Ω]으로 설정하였다.

제안된 선로구조에 동일한 시뮬레이션을 수행하여 결과를 비교하였다. 제안선로는 기존선로에서의 가공지선을 제거한 후 중성선을 가공지선 위치로 올려 중성선과 가공지선을 겸용하는 선로로 구성하였으며, 접지저항은 200[m] 간격에서 대지에 10[Ω]으로 설정하였다. 그림 9는 제안된 선로구조에 대한 시뮬레이션 모델 구조를 나타냈다.

표 2는 대지의 도전율이 무한대인 완전도체이며 가공지선과 중성선이 대지에 완전 접지되어 저항이 0인 경우 현행선로 및 제안된 선로의 차폐효과를 나타내고 있다.

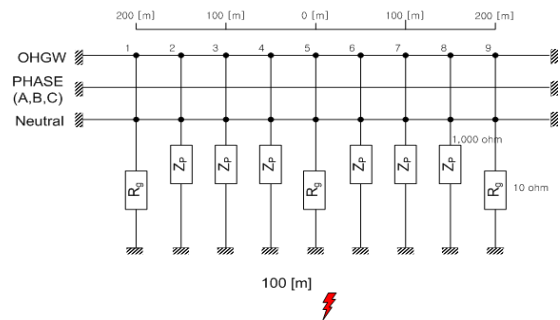


그림 8 시뮬레이션 모델 구조 (현행 선로)

Fig. 8 Simulation Model Structure (Current Line)

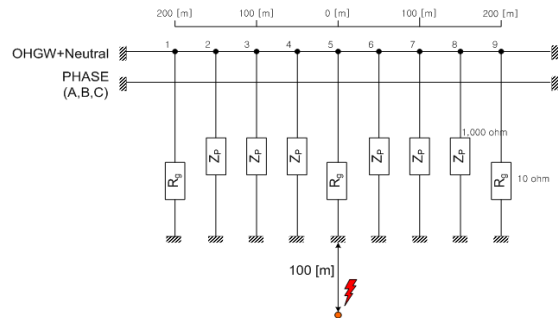


그림 9 시뮬레이션 모델 구조 (제안된 선로)

Fig. 9 Simulation Model Structure (Proposed line)

표 2 상(Phase)별 차폐계수

Table 2 Shielding Factor for Phase

구분	현행 선로		제안된 선로	
	차폐율	차폐계수	차폐율	차폐계수
A상	47.7%	0.523	31.7%	0.683
B상	50.2%	0.498	34.1%	0.659
C상	46.9%	0.531	31.7%	0.683

표 3은 전주의 높이에 따른 C상의 유도뢰 차폐효과를 나타낸 것으로 도체가 높을수록 유도뢰전압은 커진다.

표 3 전주 높이에 따른 차폐계수 (C상)

Table 3 Shielding Factor for Pole Height (C Phase)

전주상 상도체높이 [m]	현행 선로		제안된 선로	
	차폐율	차폐계수	차폐율	차폐계수
8.3	43.0%	0.570	28.8%	0.570
10	45.2%	0.548	30.4%	0.548
11.7	46.9%	0.531	31.7%	0.531
13.5	48.3%	0.517	32.9%	0.517

그림 10은 현행선로와 제안된 선로의 유도뢰 전압을 비교한 것이다. 실선은 현행 선로구조에서 유도뢰전압을 나타낸 것이다. 유도뢰전압의 최대값은 B상 도체에서 발생하였으며, 그림 7의 5지점에서 가장 크며 232[kV]로 계산되었다. 점선은 제안된 선로구조에서의 유도뢰전압을 나타냈다. 제안된 선로구조에서 유도뢰전압의 최대값은 마찬가지로 B상에서 발생하였으며 5지점(그림 7)에서 그 크기는 236[kV]로 계산되었다. 그림 10에 나타낸 바와 같이 제안된 선로구조에서 유도뢰 전압이 약간 높게 발생하는 것을 볼 수 있으나, 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

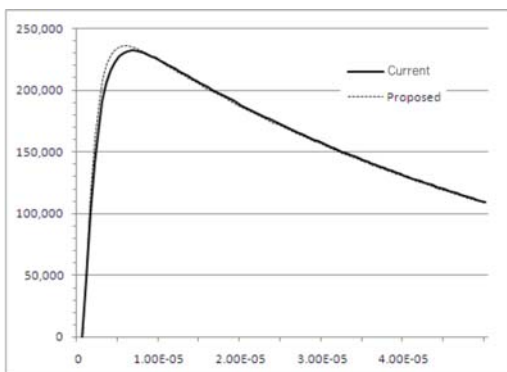


그림 10 현행과 제안된 선로에서의 유도뢰 전압 비교  
Fig. 10 Compare with Induced lightning Voltage in Current-Proposed line

제안된 선로에서 접지저항의 영향을 알아보기 위해 선로 구조를 수정하여 시뮬레이션을 다시 수행하였다. 수정된 모

델은 중성선과 가공지선을 겸용하는 제안된 선로에 대해 매 전주마다 100[Ω]으로 접지하였을 경우 200[m] 간격으로 접지하는 현행 접지방식과 비교하도록 모의하였으며, 그림 11은 수정된 모델 구조를 나타낸 것이다.

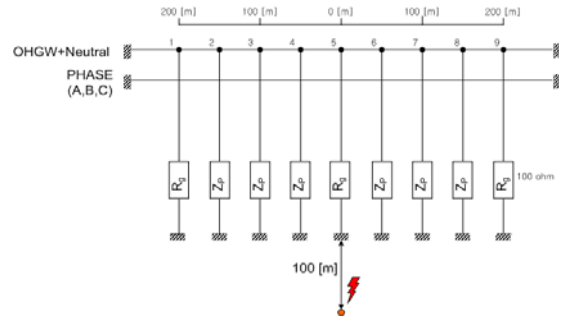


그림 11 시뮬레이션 모델 구조 (제안선로-매전주 100Ω접지)  
Fig. 11 Simulation Model Structure (Proposed-100Ω Earth)

그림 12는 제안된 선로 구조에서 접지저항 값 변화에 따른 시뮬레이션 결과를 나타냈다. 실선은 제안된 선로구조에서 매전주마다 100[Ω]으로 접지하였을 경우의 유도뢰전압을 나타냈다. 유도뢰전압의 최대값은 B상 도체에서 발생하였으며 5지점에서 322[kV]로 계산되었다. 점선은 제안된 선로구조에서 200[m] 간격으로 10[Ω]으로 접지하였을 경우의 유도뢰전압을 나타냈다. 여기서 유도뢰전압의 최대값은 마찬가지로 B상에서 발생하였으며 5지점에서 그 크기는 236[kV]로 계산되었다. 매전주마다 100[Ω]으로 접지시보다 큰 유도뢰 전압이 발생하는 것으로 나타났다. 즉 매전주마다 100[Ω]씩 접지한 유도뢰전압은 접지저항이 200[m]마다 10[Ω]으로 접지한 유도뢰전압보다 큼을 알 수 있다.

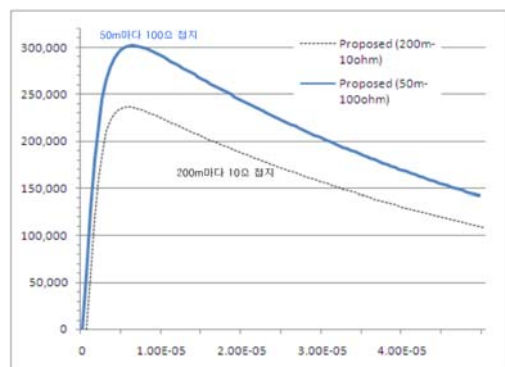


그림 12 접지저항에 따른 유도뢰 전압(제안된 선로)  
Fig. 12 Induced lightning voltage by Earth Resistance (Proposed Line)

#### 4. 결 론

가공지선과 중성선 설치 구조에 따른 유도뢰 차폐영향을 알아보기 위해 수치해석과 시뮬레이션을 통해 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 현재 시설된 구조의 조건에서 유도뢰 차폐효과 수치해석 결과 접지된 2개의 도체가 있는 경우 접지된 도체로 인해 3상 3도체의 차폐계수는 A, B 및 C상 각각에 대

- 해 0.523, 0.498 및 0.531로 산출되었다.
- (2) 개선된 모델에 대한 해석에서 접지된 1개의 도체가 있는 경우 접지된 도체로 인해 3상 3도체의 차폐계수는 A, B 및 C상 각각에 대해 0.683, 0.659 및 0.683로 산출된다. 즉 유도뢰전압은 31.7[%], 34.1[%] 및 31.7[%]로 줄어드는 효과를 나타냈으며, 가공지선과 중성선을 겸용하는 경우 차폐효과는 현행 구조에 비해 약간 감소함을 알 수 있다.
  - (3) 전주의 접지저항을 고려하여 22.9kV 중성점 다중 접지 방식이 적용되고 있는 현행의 배전선로에 대한 유도뢰 차폐효과와 중성선을 가공지선으로 겸용하여 사용한 제안된 선로의 경우 유도뢰 차폐효과를 시뮬레이션한 결과 두 시스템에 대한 차폐효과는 접지저항(R)이 112[Ω] 일 때 차이가 거의 없으며, 이상의 저항에서는 제안된 선로(4W 시스템)가 차폐효과가 좋은 것으로 분석되었다.
  - (4) 현행선로에서 발생한 유도뢰전압과 제안된 선로에서 발생한 유도뢰전압은 차이가 거의 없었다. 이는 가공지선을 통해 유도뢰 전압을 차폐하는 것이 현행구조와 제안된 구조에서 차이가 없음을 의미한다. 즉 유도뢰전압은 가공지선의 접지저항에 큰 영향을 받음을 알 수 있으며 가공지선의 유도뢰 차폐효과는 적은 것을 알 수 있다.

**감사의 글**

본 논문은 지식경제부에서 지원하여 수행중인 전력 산업원천기술개발사업의 연구개발 결과임

**참 고 문 헌**

- [1] 전력연구원, “절연설계 신뢰도 향상을 위한 너격측정 설비구축에 관한 연구”, 최종보고서, 2003.
- [2] 우정욱, 심응보, “낙뢰측정에 대한 기술동향과 LPATS 데이터에 의한 한반도 낙뢰현황”, 조명·전기설비학회지 제17권 제4호, pp.16~23, 2003.
- [3] 우정욱 외, “낙뢰측정 네트워크를 위한 감지기 사이트 서베이와 낙뢰감지율 검토”, 전기학회논문지 제55C 제11호, pp. 532~537, 2006.
- [4] 松山彰, “送電線雷害防止對策”, 電氣評論, 1997
- [5] 宮崎輝, “配電線の雷害對策”, 電氣評論, 2006.
- [6] M. Ishii 外, “Multistory Transmission Tower Model for Lightning Lurge Analysis”, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 6, No.3, pp. 1327 - 1335, 1991.
- [7] S. Yokoyama, “Calculation of lightning-induced voltages on overhead multiconductor systems”, IEEE Trans. on Power Apparatus Systems, Vol. PAS-103, No.1, Jan. 1984.

- [8] S. Yokoyama, “Analog Simulation of Lightning Induced Voltages and Its Application fir Analysis of Overhead-Ground-Wire Effects”, Proc. IEE, Vol. 132, part C, pp. 208-216, 1985
- [9] C. F. Wagner and G. D McCann, “Induced Voltage on Transmission Lines”, AIEE Trans, Vol. 61, pp.916-930, 1942
- [10] S. Rusck, “Induced Lightning Over-voltages on Power-Transmission Lines with Special Reference to the Over-Voltage Protection of Low Voltage Networks”, Trans. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1958.
- [11] P. Chowduri, “Voltages Surges Induced on Overhead Lines by Lightning Strokes”, Proc. IEE, Vol.116, pp.561-565, 1969
- [12] P. Chowduri, “Lightning-Induced Voltages on Multiconductor Overhead Lines”, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No.2, pp.658-667, 1990

**저 자 소 개**



**김 점 식 (金 点 植)**

1973년 1월 11일생. 1995년 원광대학교 전기공학과 졸(공학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸(공학석사). 2003년 한국해양대 전기공학과 박사수료. 2005년~현재 대원전기(주) 부설연구소 팀장



**김 도 영 (金 度 映)**

1980년 11월 16일생. 2003년 충남대학교 전기공학과 졸(공학사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸(공학석사). 2007년~현재 대원전기(주) 부설연구소 연구원



**박 용 범 (朴 容 範)**

1965년 10월 29일생. 1991년 조선대학교 전기공학과 졸(공학사). 2010년 중부대학교 전기공학과 졸(공학석사). 1993년~현재 대원전기(주) 상무이사/연구소장