

## OF 케이블의 과전압 해석

조성배\*, 정재기\*, 강연욱\*, 김종연\*\*, 박용우\*\*\*

\*:한전 전력연구원, \*\*:한전 대전전력관리처, \*\*\*:한전 기술기획처

### The Surge Analysis of the Oil-Filled cable

SB Cho\*, JK Jeong\*, YW Kang\*, JY Kim\*\*, YU Park\*\*

\*:KEPRI, \*\*:KEPCO

**Abstract** - This paper describes the surge calculations on cable cores and sheaths when an unit step surge is applied in a cable core. It is clear that the maximum core voltage appears at the ending point and maximum sheath voltage is induced at the sending points. It appears that the smaller grounding resistance can offer results having some trends which larger core voltage appears at the end point and smaller voltage is induced at the sending point.

#### 1. 서 론

전력수요의 증가와 함께 도시의 미관을 해치지 않는 전력설비의 시대적 요구에 부합하기 위한 자연적인 대응책으로서 지중선로가 증가되고 있다. 이러한 지중선로는 지중에 존재하므로 자연재해에 직접 노출되지 않는 장점을 갖는 반면 고장복구와 유지보수는 불편하다. 또한 지질의 성격상 대부분이 암반인 우리 나라의 토양을 감안할 때 송전의 측면에서 가장 문제가 되는 것은 양호한 접지저항을 얻기 어렵다는 점이다[1].

또한 역시 지중에 위치한 관계로 낙뢰등의 영향을 직접적으로 받지는 않지만 대부분의 지중선로는 가공선과 연결되어 있어 썬지에 대한 영향을 간과할 수 없으므로 이에 대한 대책이 강구되어야 한다. 지중선을 주로 케이블로 구성되고, 이 케이블은 심선과 시스가 주로 커패시터스로 긴밀하게 결합되어 있어 썬지에 대한 대책의 필요성은 더욱 강조된다. 이러한 점에 착안하여 본 논문에서는 실제로

운전중인 OF케이블선로에 썬지가 침입한 경우 심선과 시스에 유기 되는 과전압을 검토하고 썬지억제 방안을 제시한다.

#### 2. 이론적 배경

지중전선로에 주로 이용되는 동축 케이블은 일반적으로 심선, 시스의 구조로 되어 있어 해석상 단상케이블인 경우에도 다도체계로 취급해야 정확한 해석이 가능하다. 그러나 일반적으로 해석이 복잡하게 되므로 시스 전위를 영으로 가정하여 계산하는 경우가 많다. 본 논문에서는 모드 이론을 이용하여 시스 전위를 고려한 2도체계로하여 해석을 행한다. 또한 케이블시스는 적당한 간격으로 접지되는 것이 통례이다. 따라서 본고에서는 4단자이론을 적용하고 접지저항을 고려하여 해석한다.

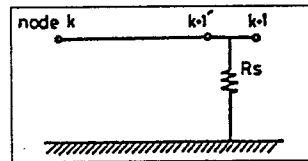


그림1. 분포정수 회로(A distributed-parameter circuit)

한편, 그림1에서 보는 바와 같이 분포정수회로를 포함하는 회로를 생각한다. 일반적으로 균질한 분포정수회로의 전압, 전류는 4단자정수를 이용하여 다음과 같이 표시한다.

$$\begin{pmatrix} (V_n) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta l / Z_0 & [Z_0 \sin \beta l / \cos \beta l] \\ [Z_0^{-1} \sin \beta l] & \cos \beta l \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (V_{n+1}) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서  $\gamma$  는 선로의 傳播정수,  $Z_0$  는 선로의 특성임피던스이다. 위의 어드미턴스 파라메타를 이용하고, 또한 접지저항 ( $R_n$ )를 고려하면 다음의 식을 얻는다.

$$\begin{pmatrix} (V_n) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [Y_n] \coth \gamma l & -[Y_n] \operatorname{cosec} \beta l \\ [Y_n] \operatorname{cosec} \beta l & -([Y_n] \coth \gamma l + [R_n]^{-1}) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (V_{n+1}) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서  $Y_n$  는 선로의 특성어드미턴스이다.

$$\begin{cases} [Y_n] = [Y_0] \coth \gamma l \\ [Q] = [Y_0] \operatorname{cosec} \beta l \\ [R_n] = [Y_n] \coth \gamma l + [R_n]^{-1} \end{cases} \quad (3)$$

그림(2)에서 케이블의 시스가 등간격으로 접지되어 있는 모델회로를 나타내고 있다. 노드  $n$  및  $n+1$  에서의 전압 ( $V_n$ ), ( $V_{n+1}$ ) 및 전류 ( $I_n$ ), ( $I_{n+1}$ )은 식(1)과 식(2)에 의해 식(4)이 된다[2,3,4].

$$\begin{pmatrix} (V_n) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [Y] & -[Q] \\ [Q] & -[R] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (V_{n+1}) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} \quad (4)$$

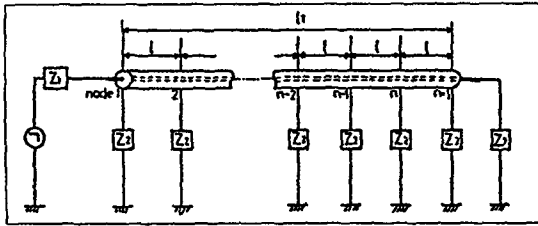


그림2 모델 선로(A model circuit)

중단의 경계조건인 (5)식을 이용하면 (6)식과 (7)식을 얻는다.

$$(V_{n+1}) = [Z_n] (I_{n+1}) \quad (5)$$

$$(I_{n+1}) = ([U] + [P][Z_n])^{-1} [Q] (V_n) \quad (6)$$

여기서  $[U]$  는 단위행렬이다.

$$\begin{cases} (I_n) = \{ [P] - [Q][Z_n] \} ([U] + [P][Z_n])^{-1} [Q] (V_n) \\ \quad - \{ [P] - [Q][Z_n] \}^{-1} + [P] \}^{-1} [Q] (V_n) \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $[Y_n]$  은 (8)식으로 정의한다.

$$[Y_n] = [P] - [Q][Z_n]^{-1} + [P] \quad (8)$$

그러므로 전압 ( $V_n$ )과 전류 ( $I_n$ )의 관계는 (9)식과 (10)식으로 된다.

$$(I_n) = [Y_n] (V_n) \quad (9)$$

$$(V_n) = [Y_n]^{-1} (I_n) \quad (10)$$

즉,  $[Y_n]$  은 노드  $n$  으로부터 케이블 중단을 본 어드미턴스로 표현되어 있다.

일반적으로 그림(2)의 전압, 전류 ( $V_n$ ), ( $I_n$ ) ( $n=1, 2, \dots, n-1$ )에는 (11)식의 관계로 유도된다.

$$\begin{pmatrix} (I_n) \\ (I_{n+1}) \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} [Y] & -[Q] \\ [Q] & -[R] \end{bmatrix} \begin{pmatrix} (V_n) \\ (V_{n+1}) \end{pmatrix} \quad (11)$$

또한 노드  $n+1$  로부터 중단을 본 어드미턴스를  $[Y_{n+1}]$  로 하면 ( $V_{n+1}$ )은 ( $I_{n+1}$ )을 이용하여 (12)식으로 표현된다.

$$(V_{n+1}) = [Y_{n+1}]^{-1} (I_{n+1}) \quad (12)$$

여기서  $[Y_n]$  를 (13)식으로 표현하면 전압, 전류는 (14)식과 (15)식으로 표현 가능하다.

$$(V_n) = [P] - [Q]([Y_{n+1}] + [R])^{-1} [Q] \quad (14)$$

$$(I_n) = [Y_n] (V_n) \quad (15)$$

$$(V_n) = [Y_n]^{-1} (I_n) \quad (16)$$

송전단의 경계조건 (17)식, (18)식, (19)식을 고려하면 (20)식과 (21)식으로 구할 수 있다.

$$(E_n) = [Z_n] (V_n) + (V_n) \quad (17)$$

$$(I_n) = [Y_n] (V_n) \quad (18)$$

$$(E_n) = ([Z_n] [Y_n] + [U]) (V_n) \quad (19)$$

$$(V_n) = ([Z_n] [Y_n] + [U])^{-1} (E_n) \quad (20)$$

$$\begin{cases} (V_{n+1}) = [Y_{n+1}]^{-1} (I_{n+1}) \\ \quad - [Y_{n+1}]^{-1} \{ [Q] + [R][Y_{n+1}]^{-1} \} [Q] (V_n) \\ \quad - ([Y_{n+1}] + [R])^{-1} [Q] (V_n) \end{cases} \quad (21)$$

(8), (14), (20), (21)식에 의해 각 노드의 전위를 구하는 것이 가능하게 된다.

### 3. 과전압 해석 결과

본 논문에서 모의한 선로는 전원 임피던스는 0, 수전단은 개방된 선로로서, AC161kV, 2000mm<sup>2</sup>, OFAZV 타입의 케이블을 사용하였고, 공장은 5855[m]이며, 포설형태는 두 개의 구간은 크로스본딩하였고 세 번째의 구간은 직접접지한 형태로 구간별 길이와 포설형태는 표1과 같다.

표1. 구간별 선로길이 및 포설형태 [단위:m]

구간	1	2	3	4	5	6
길이	347.7	223.5	265.2	419.9	309.8	318
접지	X	X	O	X	X	O
구간	7	8	9	10	11	12
길이	361	374	393	392	350	350
접지	X	X	O	X	X	O
구간	13	14	15	16	17	
길이	340	360	360	370	320.9	
접지	X	X	O	X	X	

(단, X:크로스본딩, O:직접접지)

3상중 1상에 단위계단 함수를 인가하였을 때, 선로의 중단(POINT17)에 나타나는 코어전압은 그림3과 같고, 각구간별 접지저항에 따른 전압의 크기는 그림4와 같다. 그림3과 4에서 알 수 있는 바와 같이 코어의 전압은 중단점에서 가장 크게 나타나며 접지저항값이 커짐에 따라 낮게 나타남을 알 수 있다.

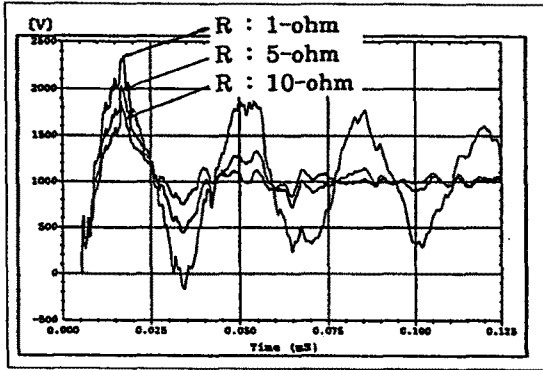


그림3. 저항값에 따른 코어 중단점 전압

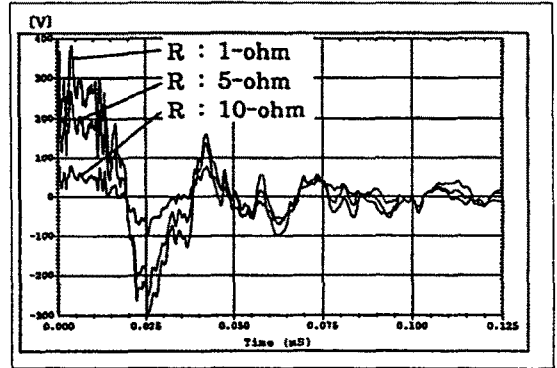


그림5. 저항값에 따른 주입점(x=0)에서의 시스에 유기되는 전압

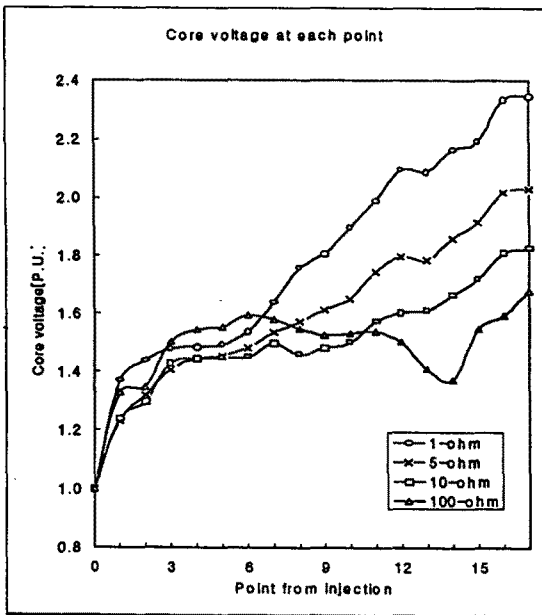


그림4. 저항별 구간별 코어전압

이후 크로스본딩 포인트의 접속방식 및 피뢰기 특성 등의 면밀한 검토가 필요하리라 생각되며, 중단에서의 두구간은 직접접지가 안된 결과로 높은 접지 저항값(본 논문에서는 100옴)에서는 중단에서 시스에 유기되는 전압이 아주 높게 나타남이 관찰되므로 앞으로 이에 대한 정확한 분석이 요구된다.

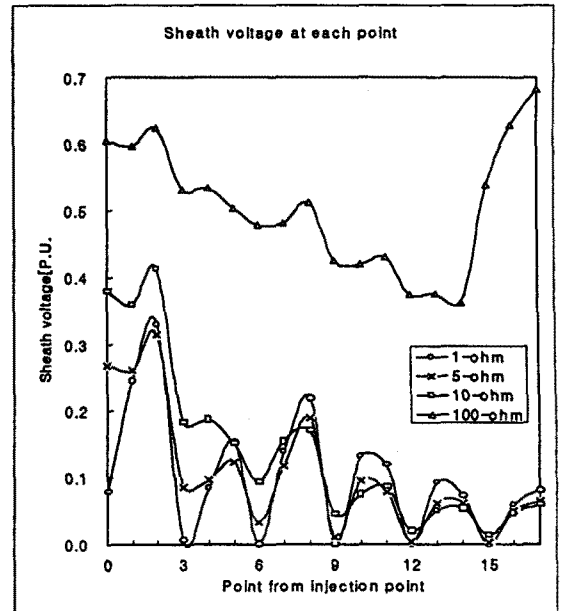


그림6. 저항값에 따른 구간별 시스 유기 전압

또한, 전원 주입점에서 시스에 유기되는 전압을 그림5에, 각구간별 접지저항에 따른 시스 유기전압을 그림6에 나타내었다.

시스에 유기되는 전압은 전원 주입점에서 크게 나타나는 경향이 있으며 접지저항이 커짐에 따라 시스에 유기되는 전압은 증가함을 알 수 있다. 본 논문에서는 크로스본딩 포인트점은 플로팅 된 것으로 모의한 결과 전원 주입점과 첫 번째 직접접지한 점 사이에서 높은 전압이 유기됨을 살펴볼 수 있었다.

### 결론

본 논문에서는 실제 운전중인 154kV 지중 OF케

이불이 방식층 보호장치에서 야기되는 방전현상을 규명하기 위한 한가지 방법으로 심선과 시스에 유기되는 전압의 경향성을 파악하고 접지저항에 변화에 따른 유기전압의 크기를 비교하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 심선의 전압은 중단점에서 가장 크게 나타나며 접지 저항값이 커짐에 따라 낮게 나타난다.
2. 시스에 유기되는 전압은 주입점에서 크게 나타나며 접지 저항값이 커짐에 따라 유기전압도 커진다.

항후 본 논문에서 다루어지지 않은 cross-bond 방식에 대한 검토와 방식층에 사용되는 피뢰기를 포함한 해석이 이루어져야한다. 또한 좀더 넓은 해석의 경우에는 가공송전선과 결합한 해석을 행함으로써 낙뢰등의 외부 침입씨의 영향검토가 이루어지리라 사료된다.

#### 참고문헌

1. 한국전력공사 전력연구원 중간보고서, "지중송전 계통의 접지기술 정립에 관한 연구", KEPRI-95Y-J19, Aug. 1996
2. Akihero Ametani, Naota Nagaoka, Hirouki Shiba, "Effect of Sheath Grounding on Cable Transients", The science and engineering review of doshisa university, Vol.22, No.4, Feb., 1982., pp.28-36
3. N. Nagaoka, A. Ametani, "Transient Calculations on Crossbond Cables", IEEE Summer Meeting, 1982, 82 SM 410-9
4. Akihero Ametani, Naota Nagaoka, "Surge Calculations on Crossbonded Cables Using a  $\pi$ -Circuit Modeling", The science and engineering review of doshisa university, Vol.23, No.1, Apr., 1982., pp.51-59